PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 4. 15. Februar 1916. Redaktionsschluß für No. 5 am 11. März 1916. 17. Jahrgang.

INHALT:

Dem Andenken der im Kriege gefallenen deutschen Physiker.
Max Behacker. S. 41.

Originalmitteilungen:
O. W. Silvey, Der Fall eines kleinen Tropfens in einem zähflüssigen Medium. S. 43.
M. Siegbahn u. W. Stenström, Über die Hochfrequenzspektra (*K*-Reihe) der Elemente *Cr* bis *Ge*. S. 48.

Zusammenfassende Bearbeitungen:
M. Born, Einsteins Theorie der Gravitation und der allgemeinen Relativität. S. 51.

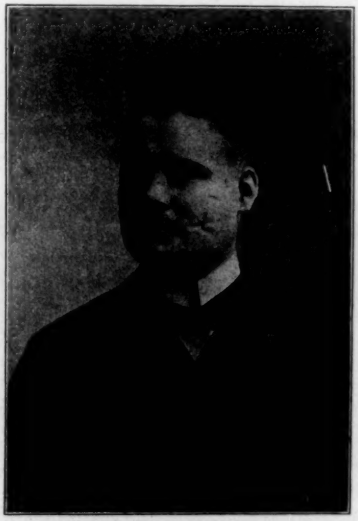
Besprechungen:
Das Erdöl. Herausgegeben von C. Engler u. H. v. Höfer. IV. S. 60.

Personalien. S. 60.

Dem Andenken der im Kriege gefallenen deutschen Physiker.

Max Behacker.

Dem Physiker, der in der Heimat seinem Beruf nachgeht, treten die furchtbaren Folgen des Krieges vielleicht durch nichts so eindrucksvoll entgegen, wie durch das Dahinsterben junger Berufsgenossen, deren erste wissenschaftliche Entfaltung er gesehen hat und deren Weiterentwicklung jäh abgebrochen wird.



Dr M. Behacker

Max Behacker wurde am 9. Juli 1885 in Urfahr bei Linz geboren und besuchte das Gymnasium zuerst in Reichenberg, dann in Prag und zuletzt in Salzburg, wo er im Jahre 1904 die Reifeprüfung mit Auszeichnung bestand. Durch seinen Vater, der selbst Schulmann, zuletzt Landesschulinspektor in Salzburg war, habe ich erfahren, daß der junge Behacker im Gymnasium in den klassischen Sprachen, der Mathematik und Physik Hervorragendes leistete, für seine Mitschüler aber, die sich durch fleißiges Lernen zunächst vorzügliche Noten in Religion und Geschichte sicherten, nur ein mitleidiges Lächeln hatte. Auch schon damals zeigte er außergewöhnliches Interesse und auffallende Begabung für Musik, für die ihn seine Lehrer am Mozarteum in Salzburg sogar als Beruf zu gewinnen suchten.

Vom Wintersemester 1905/6 bis zum Sommersemester 1909 war er an der Universität Wien inskribiert. Die Vorlesungen besuchte er nicht viel, sondern ging lieber seine eigenen Wege. Auch nahm seine Stellung im Korps Saxonia, dessen Erstchargierter er zeitweilig war, seine Zeit

viel in Anspruch. Als aber die Zeit der Rigorosen heranrückte, wunderte man sich, wie gut der junge Mann, den man so selten in den Vorlesungen gesehen hatte, beschlagen war. Hingegen hatte er immer gewissenhaft das physikalische Praktikum besucht, wo Prof. v. Schweidler ihn zu seiner ersten selbständigen Arbeit anregte [1]).

Gegen Ende des Jahres 1912 wollte Behacker die Rigorosen ablegen. Da trat infolge des Balkankrieges die Spannung zwischen Österreich und Serbien ein, es fand eine teilweise Mobilisierung statt und er mußte als Reserveleutnant sofort zu seinem Regiment, dem 101. Infanterieregiment in Békes-Csaba (Ungarn), einrücken. In Reisekleidern legte er die Prüfungen ab und wurde am 21. Dezember 1912 in absentia zum Doktor der Philosophie promoviert.

Anfangs Januar 1913 wurde er wieder in das nichtaktive Verhältnis zurückversetzt. Sein Interesse wendete sich jetzt hauptsächlich der theoretischen Physik zu und mit der für sein ganzes Wesen bezeichnenden Konsequenz ging er nun daran, durch persönlichen Kontakt mit den führenden Männern auf diesem Gebiet, die brennendsten Probleme unserer Zeit kennen zu lernen. Zunächst begab er sich zu M. Planck nach Berlin, wo er bis zum Ende des Sommersemesters 1913 verweilte. Dort wurde er zu seiner zweiten Arbeit angeregt [2]), die vor allem seinem Wunsche entsprang, an den gerade im Vordergrunde des wissenschaftlichen Interesses stehenden Problemen aktiv mitzuarbeiten. Im Sommer 1913 hielt er sich in Paris und in Genf auf. Dazu bewog ihn vor allem der Wunsch, sein Französisch möglichst gründlich an der Quelle zu vervollkommnen, wie er überhaupt immer ein großes Interesse für moderne Sprachen zeigte, so in Prag das Tschechische ziemlich erlernte und, als er ins Feld zog, sich eine englische Grammatik mitnahm. Der Vorsatz, in den Weltkrieg zu ziehen und die Zeit zur Erlernung des Englischen zu benutzen, zeigt, daß er eine der schönsten Eigenschaften des deutschen Volkes, den um alle Verleumdungen der Feinde unbekümmerten Bildungstrieb, in hohem Maße besaß.

Das Wintersemester 1913|14 verbrachte er in Zürich, wo er bei A. Einstein studierte. Im Sommersemester 1914 war er Assistent bei A. Lampa am physikalischen Institut der deutschen Universität in Prag. Dort lernte ich ihn kennen und da ich merkte, daß er mehr zu theoretischer Forschung hinneigte, bot ich ihm die eben frei gewordene Assistentenstelle am Institut für theoretische Physik derselben Hochschule an. Er sollte im Wintersemester 1914|15 dort eintreten — am 27. Juli 1914 schon wurde er telegraphisch wieder unter die Waffen gerufen; diesmal war es ernst. Er rückte zu seinem alten Regiment ein und stand im August an der serbischen Grenze; das Regiment wurde aber bald nach Galizien verschoben, er selbst blieb einige Zeit als Rekruteninstruktor in Békes Csaba, dann wurde er mit dem Kommando einer Arbeiterabteilung des Regiments betraut und machte die so wechselvollen und schließlich so erfolgreichen Kämpfe unserer Armee gegen die Russen mit. Seine Fürsorge für die Mannschaft und sein Bestreben, ihr als Beispiel eines Soldaten voranzuleuchten, veranlaßten ihn, sich mutig immer den größten Gefahren auszusetzen, so daß kein Arbeitssoldat sagen konnte, der inzwischen zum Oberleutnant vorgerückte Kommandant schone sich mehr als der geringste Arbeiter. Bei dem siegreichen Vorrücken unserer Armee über Lemberg hinaus war seine Abteilung bei einem gefährlichen Brückenschlag über den Bug beteiligt. Dabei erhielt er einen Bauchschuß und erlag binnen 24 Stunden seiner

Wunde. Er wurde anfangs August 1915 mit militärischen Ehren im Schloßpark des Grafen Badeni bei Kamionka-Strumilova bestattet. Er war für die Verleihung des Militärverdienstkreuzes eingegeben, das ihm auch nach seinem Tode verliehen wurde. Seine Vorgesetzten und Untergebenen haben ihrer Teilnahme und ihrer Anerkennung für ihn in warmen Worten Ausdruck gegeben.

Leider habe ich Behacker nur sehr kurze Zeit gekannt, aber er erschien mir immer als das Urbild eines knorrigen, selbständigen Menschen, der alles, was er sich vornahm, auch mit großer Zähigkeit durchzusetzen versuchte. Sein hoher Grad von wissenschaftlichem Interesse, seine Begabung, wie insbesondere die ungewöhnliche Energie im Arbeiten haben erwarten lassen, daß er noch Schönes leisten würde. Nun ist das Rätsel, das jede wissenschaftliche Entfaltung darstellt, ausgelöscht, ehe es gelöst ist.

Verzeichnis der wissenschaftlichen Arbeiten:

1) Beiträge zur Kenntnis der atmosphärischen Elektrizität XLI. Zur Berechnung des Erdfeldes unter der Voraussetzung homogener Ionisation der Atmosphäre. (Sitzungsberichte der Wiener Akademie 1910.)
2) Der freie Fall und die Planetenbewegung in Nordströms Gravitationstheorie. (Diese Zeitschr. **14**, 989, 1913.)

Institut für theoretische Physik.
Prag, am 2. Februar 1916.

Philipp Frank.

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Der Fall eines kleinen Tropfens in einem zähflüssigen Medium.
(The Fall of a Droplet in a Viscous Medium.)

Von O. W. Silvey.

I. Vergleichung des Falles eines Tröpfchens in einer Flüssigkeit mit jenem in einem Gase.

In seinem Bericht über einen Versuch, den Wert der Konstanten A der berichtigten Stokesschen Formel[1]) für fallende Kugeln in Luft nach einem direkten Verfahren zu messen, ist Roux[2]) zu dem Schlusse gelangt, daß die experimentelle Bestimmung von Millikan[3]) fehlerhaft sei, und daß der Wert dieser Konstanten 1,6 sein müsse, und nicht, wie Millikan angegeben hat, 0,875.

Das Verfahren von Roux bestand darin, ein Quecksilber- oder Schwefeltröpfchen in Luft und darauf in eine Flüssigkeit fallen zu lassen und aus der Fallgeschwindigkeit in den beiden Medien den Wert von A zu berechnen. Dabei nahm er die ursprüngliche Stokessche Formel für den Fall in der Flüssigkeit als gültig an. Wenn sein Verfahren auch anscheinend gute Ergebnisse zu liefern vermag, ist es doch dem Einwande ausgesetzt, daß der Fehler bei der Ablesung der Fallzeit des Tröpfchens zu groß war, um zuverlässige Ergebnisse erreichen zu lassen.

Ich beschloß deshalb, die Arbeit von Roux zu wiederholen, und zwar unter Bedingungen, die eine genauere Messung gestatteten. An Stelle einer Stoppuhr benutzte ich ein Hippsches Chronoskop, mit dem Zeiträume bis auf $^1/_{1000}$ Sekunde gemessen werden konnten. Um den persönlichen Fehler leichter ausschalten zu können, ordnete ich einen Apparat so an, daß ich ein geladenes Tröpfchen mehrmals durch ein elektrostatisches Feld heben und fallen lassen konnte. Darauf ließ ich das Tröpfchen in ein mit Xylol gefülltes Gefäß fallen. Seine Fallzeit durch eine bekannte Strecke wurde sowohl in Luft als auch im Xylol gemessen, und aus diesen Messungen und den erforderlichen Konstanten wurde der Wert des Tropfenhalbmessers a und jener der Konstanten A auf folgende Weise bestimmt:

Für den Fall in Luft wurde die berichtigte Gleichung

$$V_1 = {}^2/_9\, g a^2 \frac{(\sigma - \varrho_1)(1 + AL/a)}{\mu_1} \qquad (1)$$

angesetzt.

1) G. G. Stokes, Mathematical and Physical Papers, **3**, S. 59.
2) Roux, Ann. de Chim. **29**, 69.
3) Millikan, Phys. Rev. **32**, 350, 1911; diese Zeitschr. **13**, 1152, 1912.

Für den Fall in der Flüssigkeit nahm ich die ursprüngliche Stokessche Formel

$$V_2 = \tfrac{2}{9} g a^2 \frac{(\sigma - \varrho_2)}{\mu_2} \qquad (2)$$

als gültig an.

Dividiert man (1) durch (2) und löst nach A auf, so erhält man:

$$A = \left(\frac{V_1 \mu_1 (\sigma - \varrho_2)}{V_2 \mu_2 (\sigma - \varrho_1)} - 1 \right) \frac{a}{L}.$$

Hier sind a und σ der Halbmesser und die Dichte des fallenden Tröpfchens, μ_1, ϱ_1 und L die innere Reibung, die Dichte und die mittlere Fallstrecke für Luft, μ_2 und ϱ_2 die innere Reibung und die Dichte der Flüssigkeit, V_1 die Geschwindigkeit in Luft und V_2 die Geschwindigkeit in der Flüssigkeit.

Der Wert des Halbmessers wurde aus der Fallgeschwindigkeit in der Flüssigkeit erhalten.

Die angewandte Apparatur war dieselbe, die Millikan bei seiner Bestimmung der elektrischen Elementarladung benutzt hat, mit der Ausnahme, daß ich an Stelle der festen unteren Platte des Kondensators eine dünne Eisenblechscheibe mit einem kreisrunden Loch von 6,4 mm Durchmesser in der Mitte benutzte. An die Unterseite dieser Scheibe war ein Glasgefäß angekittet, welches das Xylol enthielt. Mit Hilfe eines Fernrohres konnte die Fallzeit des Tropfens durch eine bekannte Strecke in Luft und darauf in Xylol bestimmt werden. Die Tröpfchen wurden nach demselben Verfahren erhalten, dessen sich Roux bedient hat, nämlich durch Blasen eines Luftstromes über siedendes Quecksilber.

Die Apparatur.

Die benutzte Apparatur ist in Figur 1 dargestellt. Sie bestand aus einem Paar Kondensatorplatten der von Millikan angegebenen Art von je 22 cm Durchmesser. In der Mitte der oberen Platte waren drei etwa 0,7 mm weite Löcher, durch welche Quecksilbertröpfchen hindurchfallen konnten. Über der Mitte dieser Platte befand sich eine Eisenblechscheibe D_1, mit deren Hilfe ein Hebel zur Seite bewegt werden konnte, um zu ermöglichen, daß fallende Tröpfchen die Löcher erreichen. An der einen Kante sorgte ein kleines mit Quecksilber gefülltes Näpfchen für einen elektrischen Kontakt mit den durch den Ebonitstopfen E eingeführten Zuleitungsdrähten. Die in Figur 1 A im Querschnitt dargestellte untere Platte bestand aus ungefähr 0,36 mm dickem Eisenblech. Sie war mittels Schrauben an einem kurzen hölzernen Zylinder von demselben Durchmesser und ungefähr 5 cm Höhe befestigt. Auf ihr ruhten drei Glaspfeiler T, T, T von 15,875 mm Höhe,

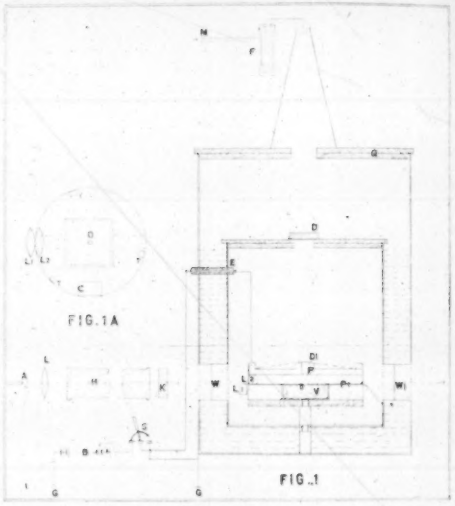


Fig. 1.

die alle aus einem und demselben Stück Glas geschnitten worden waren. Diese trugen die obere Platte. In die Mitte dieser dünnen Platte war ein kreisrundes Loch von 6,4 mm Durchmesser eingeschnitten, und an ihre Unterseite war ein rechteckiges Glasgefäß V angekittet, dessen Innenmaße $4{,}9 \times 4{,}9 \times 2{,}1$ cm waren. Der Holzzylinder war in der Mitte für die Aufnahme des Gefäßes V ausgespart und längs des Durchmessers $L_1 L_2$ O mit einer Nut versehen, wie dies durch die gestrichelten Linien angedeutet wird; durch diese Nut konnte Licht zu dem Gefäße gelangen. Eine zweite Nut längs des Halbmessers CO gestattete die Betrachtung des beleuchteten Gefäßes. Ein in die Mitte der Unterseite des Holzzylinders eingeschraubter zylindrischer Messingpfeiler trug den ganzen Kondensator sicher, so daß seine Achse mit jener eines ihn umschließenden zylindrischen Troges aus Eisenblech von 30,5 cm Durchmesser und 30,5 cm Höhe zusammenfiel. Letzterer war seinerseits wiederum von einem größeren Troge aus demselben Material von 45,7 cm Durchmesser und 67,5 cm Höhe umschlossen. Die beiden Tröge wurden durch den den Kondensator tragenden Messingpfeiler in der Mitte sowie durch vier Enden Teleskoprohr unverrückbar in ihrer Lage zueinander gehalten. Eines dieser Rohrenden von 2,5 cm Durchmesser trug den isolierenden Ebonitstopfen E; die übrigen drei hatten einen Durchmesser von 7 cm. Zwei von ihnen, bei W und W_1,

gestatteten dem Licht den Durchgang durch das Gefäß und zwischen den Kondensatorplatten, und das dritte, das senkrecht zu der Linie $W W_1$ stand, gestattete dem Beobachter, das Gefäß zu sehen. Jedes der 7 cm weiten Rohre enthielt ein Glasfenster. Die untere Platte des Kondensators war elektrisch mit dem inneren Troge und somit durch Erdung des äußeren Troges mit der Erde verbunden. Beide Tröge waren mit hölzernen Deckeln versehen, und zur Vermeidung rascher Temperaturänderungen war der äußere oben und an den Seiten ungefähr 6 mm stark mit Asbest bedeckt. Der Raum zwischen beiden war mit Öl gefüllt.

Die Tropfen wurden durch Durchblasen eines plötzlichen starken Luftstoßes durch das Eisengefäß F gebildet, welches eine kleine Menge siedenden Quecksilbers enthielt. Der von dem Luftstrom mitgeführte Quecksilberdampf verdichtete sich nach dem Verlassen des Siedegefäßes zu kleinen Tropfen und fiel frei auf den Kondensator, wenn der Schieber, der den inneren Trog bedeckte, und jener, welcher die Löcher im Kondensator bedeckte, beiseite geschoben waren.

Das System wurde durch eine Bogenlampe A mit rechtwinklig gestellten Kohlen beleuchtet. Der Krater dieser Lampe wurde mittels der Linse L auf dem Fenster W abgebildet, und dann wurde von ihm durch die Zylinderlinsen L_1 und L_2 ein vertikales Band von etwa 8 mm Breite und 3,5 cm Länge in der Achse des Kondensators entworfen. Um die nicht leuchtende Strahlung auszuschalten, wurde das Licht durch eine Wassersäule H von 52,5 cm Länge und durch eine 1 cm dicke Schicht K einer 12 prozentigen Lösung von Kupferchlorid in Alkohol filtriert.

Die obere Platte wurde elektrisch mit einer Sammlerbatterie B durch Schließen des Schlüssels S verbunden, und durch entgegengesetzte Schaltung des Schlüssels wurden die beiden Platten kurzgeschlossen und geerdet.

Zur Verhinderung von Luftströmungen wurde der Kondensator mit einer durchsichtigen Zelluloidhülle umgeben, in der an den Stellen L_1, L_2 und C (s. Figur 1 A) Fenster ausgespart waren.

Die Tröpfchen, welche durch die Löcher in der oberen Kondensatorplatte fielen, wurden in der Richtung CO durch ein Fernrohr mit kurzer Brennweite und konstanter Länge betrachtet. Eine sorgfältig geteilte Skala im Okular bot die Möglichkeit, den von den Tröpfchen zurückgelegten Weg in Millimetern zu messen. Das Fernrohr konnte mittels Zahntriebes gehoben werden, um das Tröpfchen in der Luft zu betrachten, und dann gesenkt werden, um ihn in der Flüssigkeit zu betrachten, die das Gefäß V bis auf den gekrümmten Meniskus bei O vollständig füllte. Zur sicheren Auffindung des Tröpfchens in der Flüssigkeit war zwischen den Kondensatorplatten ein Stück optischen Glases C angebracht, das dem doppelten Zweck diente, das Fenster in dem Schutzmantel zu verschließen und die Änderung der optischen Weglänge beim Eintritt der Tröpfchen in die Flüssigkeit zu kompensieren. Die Dicke der Xylolschicht, welche durch das Glas C kompensiert wurde, war durch Versuche vor dem Aufkitten der Kondensatorplatte ermittelt worden.

Handhabung.

Bei geerdeten Kondensatorplatten, offenem Schieber D und geschlossenem Schieber D_1 wurde eine Wolke von Tröpfchen abgeblasen. Dann wurde der Schieber D_1 geöffnet, so daß die Tröpfchen durch die kleinen Löcher des Kondensators hindurchfallen konnten. Darauf wurde der Schlüssel S geschlossen, und die Tröpfchen mit dem richtigen Ladungsvorzeichen durch das elektrische Feld nach oben gezogen. Eines dieser Tröpfchen wurde für die Beobachtung ausgewählt, der Schieber D_1 wurde wieder geschlossen, um zu verhindern, daß weitere Tröpfchen in den Kondensator eintraten, und dann wurden durch mehrmaliges Steigen- und Fallenlassen des Tröpfchens alle übrigen aus dem Felde beseitigt. Nunmehr wurde dieses Tröpfchen in den oberen Teil des Feldes gezogen und unter der Einwirkung der Schwerkraft durch eine Strecke von 1 cm fallen gelassen, wobei jedesmal die Fallzeit mit dem Chronoskop gemessen wurde. Das wurde eine Reihe von Malen, für gewöhnlich etwa 40 mal, wiederholt. Während dieser Zeit fielen alle übrigen Tröpfchen, die in die Flüssigkeit eingetreten waren, zu Boden. Nunmehr wurde das Tröpfchen in die Flüssigkeit fallen gelassen, das Fernrohr wurde schnell gesenkt, und es wurde beobachtet, wie der Tropfen durch den Meniskus hindurch kam und langsam fiel. Dann wurde das Fernrohr so lange verschoben, bis es scharf auf das Tröpfchen eingestellt war, und die Fallzeit durch möglichst viele Strecken von einem Millimeter oder von zwei Millimetern gemessen. Der mit 10 multiplizierte Mittelwert aus diesen Millimeterablesungen wurde als die Fallzeit für 1 cm in der Flüssigkeit angenommen. Infolge von Konvektionsströmungen machten Unregelmäßigkeiten in der Geschwindigkeit in den einzelnen Teilen der Bahn die Aufzeichnung der Fallzeit für die einzelnen Millimeterstrecken statt jener für die ganze Bahn erforderlich.

Mit dieser Versuchsanordnung war es nicht möglich, die störenden Konvektionsströmungen

auf der ganzen Fallstrecke in der Flüssigkeit gänzlich auszuschalten, aber im mittleren Teile wurden unter den günstigsten Verhältnissen keine Störungen beobachtet, und ich glaube, daß die nachstehend angegebenen Werte von dieser Fehlerquelle frei sind, wie auch von dem etwaigen Fehler, der durch die Verdampfung des Quecksilbertropfens auftritt.

Nachstehend sind einige der gewonnenen Ergebnisse angeführt:

Anzahl der Fallwege in der Luft	Temperatur	Mittlere Fallzeit durch 1 cm i. d. Luft in Sek.	Höchste Fallzeit durch 1 cm in Xylol in Sek.	$a \cdot 10^4$	A
43	25,2	1,668	62,40	1,878	1,13
20	25,2	1,707	63,59	1,740	0,95
43	25,3	1,987	74,40	1,720	1,05
43	25,0	2,050	77,52	1,692	1,06
42	25,0	2,114	79,09	1,665	1,07
43	25,0	2,145	80,69	1,732	1,03
43	25,3	2,257	84,05	1,610	1,08
43	25,3	2,860	108,56	1,424	1,06
42	25,2	2,849	108,23	1,427	1,05
43	25,0	2,924	110,04	1,415	1,01
43	25,0	3,074	116,33	1,377	0,98
43	25,2	3,754	143,30	1,241	0,89
42	25,2	4,852	185,00	1,091	0,86
43	25,2	5,189	200,59	1,048	1,00
10	25,0	5,343	208,44	1,029	1,06
10	25,0	6,182	241,64	0,9563	1,04
40	25,0	6,190	244,00	0,952	1,08
					1,03

Die Dichte der Luft bei 23° C. wurde zu 0,0001824 angenommen, und bei der Korrektion auf die oben genannten Temperaturen wurde eine lineare Beziehung mit der Temperatur vorausgesetzt. Dieselbe Annahme wurde bei der Korrektion der Dichte und der inneren Reibung der Flüssigkeit gemacht. Die Messung der Dichte und der inneren Reibung der Flüssigkeit lieferte folgende Ergebnisse:

	23°,00	25°,00
Dichte:	0,8504	0,8487
Innere Reibung:	0,006226	0,006107

Der Fehler im Werte für A ist m. E. bei den kleineren Tröpfchen nicht größer als 8 v. H.

II. Bestimmung von A aus dem scheinbaren Werte der Elementarladung.

Nach Ersatz des hölzernen Kondensators der Fig. 1 durch eine eiserne Kondensatorplatte von demselben Durchmesser und Einrichtung einer Röntgenstrahlenausstattung wurde der Apparat der gleiche, wie ihn Millikan ursprünglich zur Messung der Elementarladung benutzt hat. Bei dieser Anordnung machten indessen zwei Versuchsbedingungen eine genaue Messung von e unmöglich: 1. Die Verdunstung des Tröpfchens ließ die Arbeit sehr langsam fortschreiten und rief, wenn sie nicht ganz aufhörte, große Unsicherheit hervor. Der Umstand, daß bei den meisten Tröpfchen die Verdunstung tatsächlich aufhörte, schien auf einer Kondensation des Öles, mit dem die Platten zum Auffangen von Staubteilchen überzogen waren, an dem Tröpfchen zu beruhen. Die Kondensation war ebenfalls eine Fehlerquelle. 2. Die zweite Fehlerquelle war die Aufhäufung von Quecksilber auf der unteren Platte. Im Gegensatz zu dem Öl, das sich über die Oberfläche ausbreitete, häufte sich das Quecksilber in kleinen Kügelchen an, die das elektrische Feld ungleichförmig machten.

Nachstehend sind die Beobachtungen an einem der kleineren Tröpfchen zusammengestellt.

Tropfen Nr. 13.

T_g	T_f	$\frac{1}{T_f}$	n'	$\frac{1}{n'}\left(\frac{1}{T_f}-\frac{1}{T_f'}\right)$	n	$\frac{1}{n}\left(\frac{1}{T_g}+\frac{1}{T_f}\right)$
55,6	43,8	0,02304			1	
56,6	47,0					0,04083
55,8	9,035					
56,8	9,040		2	0,04083		
55,8	9,443	0,10446			3	0,04075
56,2	9,572					
56,2	42,4		2	0,04046		
56,4	42,6	0,02353			1	0,04131
	15,464		1	0,04084		
	15,487	0,06137			2	0,04108
	15,051		1	0,04078		
	42,4	0,02359			1	0,04137
56,4	9,427		2	0,04078		
	9,594	0,10514			3	0,04098
	43,0		2	0,04097		
	43,2	0,02320			1	0,04099
	15,674		1	0,04047		
	15,423	0,06377			2	0,04073
	15,994		1	0,04008		
56,4	42,4	0,02359			1	0,04137
56,22				0,040684		0,041023

$V_i = 3410$ $\quad V_f = 3385$

$t = 24^0,8$ C $\quad a = 0,000030061$

$\frac{L}{a} = 3203$

$e_i = 6,585 \times 10^{-10}$

$e_i^{2/3} = 75,69 \times 10^{-8}$.

V_i und V_f bedeuten hier die Anfangs- und die Endspannung.

Der erste Fall dieses Tröpfchens erfolgte in zwanzig Sekunden. Ehe die vorstehend aufgeführten Ablesungen vorgenommen wurden, wurde das Tröpfchen solange festgehalten, bis die Verdunstung aufhörte. Die Zeit, die erforderlich war, um die vorstehenden Angaben zu erhalten, betrug fünfzig Minuten.

In der folgenden Übersicht sind Beobachtungen und berechnete Werte für andere Tröpfchen zusammengestellt:

Tröpfchen	γ_g	$a \cdot 10^2$	$e_1 \cdot 10^{10}$	$1/a \cdot 10^2$	$e_1^{2/3} \cdot 10^8$
1	8,066	8,469	5,143	11,36	64,19
2	8,327	8,463	4,967	11,23	63,74
3	11,054	7,175	5,350	13,24	66,11
4	13,668	6,447	5,345	14,72	65,86
5	19,340	5,332	5,572	17,82	67,72
6	23,261	4,812	5,762	19,74	69,24
7	25,910	4,536	5,906	20,95	70,39
8	26,437	4,533	5,720	20,96	68,91
9	27,970	4,442	5,979	21,88	70,97
10	36,150	3,761	6,305	25,26	73,53
11	40,140	3,575	6,228	26,57	73,49
12	45,000	3,399	6,266	27,95	73,22
13	56,22	3,001	6,585	32,03	75,09
14	62,15	2,791	6,645	34,04	76,14

In diesen Zusammenstellungen habe ich dieselben Bezeichnungen und dieselbe Art der Darstellung benutzt, die sich in Millikans zweitem Bericht über die Messung der Elementarladung[1]) findet.

Trägt man die für $e_1^{2/3}$ und für L/a gefundenen Werte als Ordinaten bzw. als Abszissen

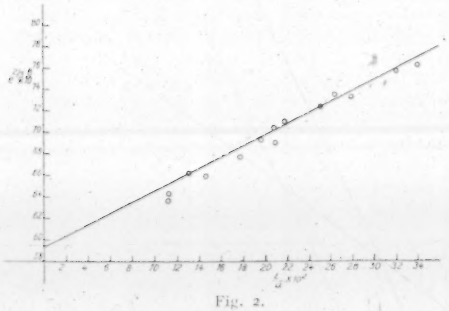


Fig. 2.

auf und gibt dabei jenen Tröpfchen das größte Gewicht, die unter dem Einfluß der Schwerkraft eine größere Fallgeschwindigkeit als 20 Sek./cm hatten, und benutzt man für den Schnittpunkt den Millikanschen Wert, so findet man den Wert von A zu 0,826. Der niedrige Wert für den Schnittpunkt (59,3 statt 61,05) läßt die Unvollkommenheit der Apparatur erkennen. Der geringe Wert der Neigung steht in Einklang mit der Annahme, daß sich auf den Tröpfchen Öldampf niedergeschlagen hatte, denn die größte Wirkung würde an den kleinsten Tröpfchen hervorgerufen werden (s. Fig. 2).

III. Der Fall von Quecksilbertröpfchen in einem zähflüssigen Medium.

Die Anwendung der Gleichung von Hadamard[2]) auf den Fall im Xylol ergab für A den Wert 2,635 an Stelle von 1,0808 für den letzten Tropfen der Liste. Ich untersuchte deshalb das Gesetz des Falles von Quecksilbertröpfchen in Glyzerin. Die Tröpfchen wurden auf die Spitze einer Nadel aufgespießt und ihr Durchmesser mit Hilfe eines Zeißschen Mikrometerokulars an einem Mikroskop von Leitz in Wetzlar gemessen, das eine etwa 600fache lineare Vergrößerung hatte. Nach Messung des Durchmessers wurde das Tröpfchen in Rizinusöl gebracht, das sich in einer Fallröhre von 5,5 cm Durchmesser und 40 cm Länge befand. Die Fallröhre war an beiden Enden ausgezogen und an ein kurzes 0,8 cm weites Rohr angeschmolzen, das mit Hilfe eines Gummischlauches und einer Klemme verschlossen werden konnte. Es wurde die Fallzeit des Tröpfchens zwischen zwei ringsum das Rohr eingeätzten parallelen Linien beobachtet. Nachdem das Tröpfchen die Strecke zwischen den parallelen Linien durchfallen hatte, wurde die Röhre umgekehrt und eine neue Messung der Fallzeit angestellt. Jedes Tröpfchen wurde nach einer Reihe von sechs oder mehr Fällen aus der Röhre herausgenommen.

Die umstehende Zusammenstellung gibt die beobachtete Geschwindigkeit für die einzelnen Tröpfchen an und daneben die nach der Stokes-

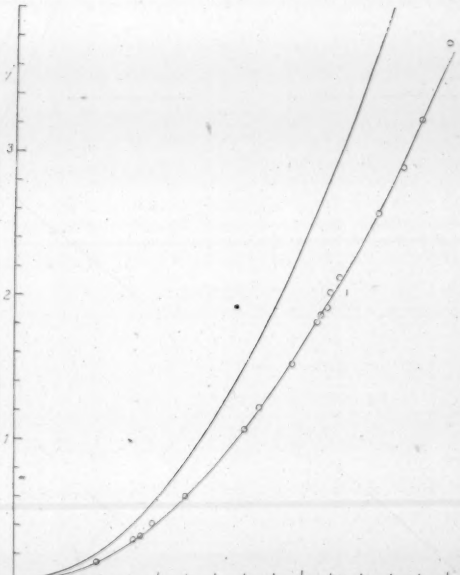


Fig. 3.

1) Phys. Rev. (2) **2**. Aug. 1913.
2) Hadamard, C. R., März 1911.

Ladenburgschen Gleichung[1]) berechnete Geschwindigkeit, sowie die nach der Stokes-Hadamardschen Gleichung berechnete. Die Übersicht läßt deutlich erkennen, daß in diesem Falle die Stokes-Ladenburgsche Gleichung anzuwenden ist, und nicht die Stokes-Hadamardsche. Zeichnet man Kurven für die nach den beiden Gleichungen berechneten Werte in der Weise, daß man die Halbmesser als Abszissen und die zugehörigen Geschwindigkeiten als Ordinaten aufträgt, so findet man, daß die beobachteten Werte sich der Stokes-Ladenburgschen Kurve anschließen (s. Fig. 3).

Halbmesser in cm	Geschwindigkeit in cm Sek.	Geschwindigk. nach d. Stokes-Ladenburgsch. Gleichung berechnet	Geschwindigk. nach d. Stokes-Hadamardschen Gleichg. berechnet
0,00577	0,0139	0,0139	0,0202
0,00829	0,0281	0,0286	0,0416
0,00863	0,0305	0,0301	0,0451
0,00974	0,0398	0,0395	0,0575
0,01198	0,0589	0,0596	0,0868
0,01599	0,1045	0,1057	0,1538
0,01696	0,1217	0,1189	0,1728
0,01928	0,1511	0,1533	0,2229
0,02090	0,1800	0,1798	0,2615
0,02118	0,1842	0,1846	0,2685
0,02149	0,1903	0,1900	0,2763
0,02194	0,2014	0,1979	0,2878
0,02251	0,2113	0,2083	0,3029
0,02506	0,2572	0,2575	0,3744
0,02659	0,2893	0,2893	0,4208
0,02789	0,3226	0,3214	0,4675
0,02997	0,3775	0,3668	0,5335
0,03779	0,5982	0,6211	0,9033

Die vorstehende Untersuchung wurde im Ryerson-Laboratorium für Physik an der Universität Chicago ausgeführt. Ich möchte Herrn Professor R. A. Millikan, auf dessen Anregung hin ich die Untersuchung unternommen habe, meinen Dank für die Überlassung der Hilfsmittel des Institutes und für seine freundlichen Ratschläge und seine fördernden Anregungen während des Fortganges der Arbeit zum Ausdruck bringen.

1) Ladenburg, Ann. d. Phys. (4) **22**, 287, 1907; **23**, 447, 1907.

Purdue-Universität, W. La Fayette, Indiana.

(Nach dem Manuskript aus dem Englischen übersetzt von Max Iklé.)

(Eingegangen 8. Februar 1916.)

Über die Hochfrequenzspektra (*K*-Reihe) der Elemente *Cr* bis *Ge*.

Von Manne Siegbahn und Wilhelm Stenström.

(Mit Tafel II.)

Einleitung.

Durch die bisherigen Untersuchungen[1]) im hiesigen Institute über die Hochfrequenzspektra der Elemente sind jetzt die vier Komponenten der *K*-Reihe ziemlich vollständig von Arsen bis Neodym bekannt. Die Fortsetzung zu höheren Elementen läßt sich wegen Mangel an den betreffenden Substanzen noch nicht ausführen. Dagegen ist eine Neubestimmung der vorangehenden leichteren Elemente nötig, weil — wie wir jetzt wissen — die *K*-Reihe aus vier Komponenten[2]) besteht, und die schon klassisch gewordenen Moseleyschen Messungen nur zwei Komponenten aufnehmen. Von diesen beiden ist die mit α bezeichnete eine Doppellinie, die (wohl wegen zu großer Spaltöffnung) bei Moseley als eine einzige Linie photographiert und gemessen ist. Für die schwache β_2-Linie (nach der Bezeichnung von Malmer), dessen Intensität, wie es scheint, bei leichteren Elementen abnimmt, liegen bisher keine Messungen vor. Bei Germanium ist von de Broglie nach der Sekundärstrahlungsmethode die $\alpha_1 - \alpha_2$-Linie bestimmt. Gallium stand uns nicht zur Verfügung.

Die Aufnahme der Spektrogramme.

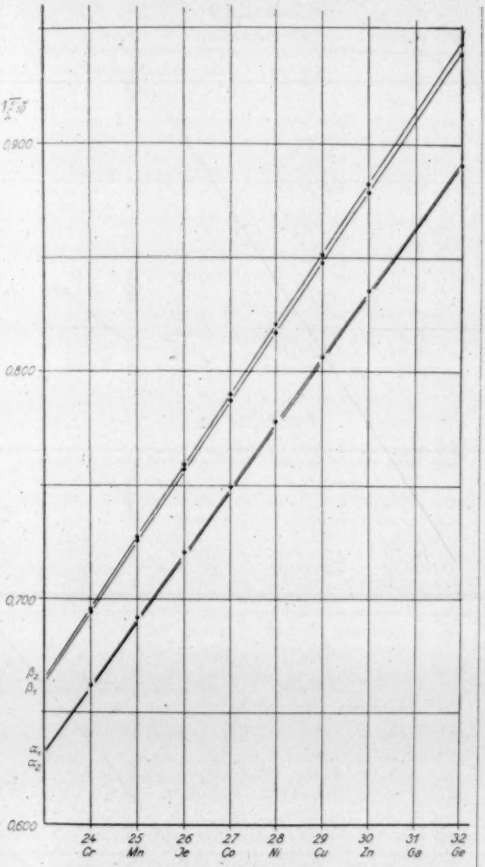
Zur Erzeugung der charakteristischen Strahlung wurde das betreffende Element an die gekühlte Antikathode einer Röntgenröhre angebracht. Als Fenster für diese sehr weichen Strahlen diente ein 0,05 mm dickes Aluminiumblech. Für die experimentellen Anordnungen im übrigen sei an zwei Mitteilungen in den Annalen der Physik[3]) hingewiesen.

Die Elemente wurden im allgemeinen in mehreren Kombinationen untersucht, um an demselben Spektrogramme Linien von verschiedenen Elementen messen zu können, wodurch eine gute Kontrolle gewährt wird. Die Übereinstimmung der an verschiedenen Platten gemessenen Linien ist sehr gut; die Abweichungen sind von der Größenordnung 0,1 bis 0,2 Proz.

1) I. Malmer, Diss. Lund 1915; M. Siegbahn, Verhandlungen der D. Phys. Ges. 1916, S. 39; M. Siegbahn und E. Friman, Ann. d. Phys. 1916.

2) Es sei erwähnt, daß an mehreren unserer Spektrogramme noch eine dritte, sehr schwache, α-Linie zu sehen ist.

3) M. Siegbahn und E. Friman, Ann. d. Phys. 1916.



Einige der Spektrogramme sind in Tafel II reproduziert:

a) Messing (*Cu, Zn*) Pl. 47
b) Nickelin (*Ni, Cu, Zn*) Pl. 48
c) Kobalt (*Co, Ni*) Pl. 49.

Germanium wurde als Oxyd an der gefeilten Kupferantikathode gerieben. Zur Aufnahme wurden etwa 3 bis 4 Milligramm der Substanz benutzt.

Messungen.

In den folgenden Tabellen sind die an den verschiedenen Spektrogrammen erhaltenen Messungsergebnisse zusammengestellt.

Tabelle 1.

Pl. 47. Messing.

Linie	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
$Zn\ \beta_1$	13° 18′ 10″	1,295	0,8788
$Cu\ \beta_2$	14° 11′ 35″	1,380	0,8513
$Cu\ \beta_1$	14° 19′ 0″	1,392	0,8477
$Zn\ \alpha_1$	14° 45′ 25″	1,434	0,8352
$Zn\ \alpha_2$	14° 47′ 40″	1,437	0,8342
$Cu\ \alpha_1$	15° 52′ 30″	1,539	0,8060
$Cu\ \alpha_1$	15° 54′ 55″	1,543	0,8050

Tabelle 2.

Pl. 48. Nickelin.

Linie	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
$Cu\ \beta_2$	14° 10′ 30″	1,378	0,8518
$Cu\ \beta_1$	14° 17′ 50″	1,390	0,8482
$Zn\ \alpha_1$	14° 44′ 10″	1,432	0,8358
$Zn\ \alpha_2$	14° 46′ 40″	1,436	0,8346
$Ni\ \beta_2$	15° 19′ 45″	1,488	0,8198
$Ni\ \beta_1$	15° 25′ 50″	1,497	0,8172
$Cu\ \alpha_1$	15° 51′ 50″	1,538	0,8062
$Cu\ \alpha_2$	15° 54′ 25″	1,543	0,8052
$Ni\ \alpha_1$	17° 6′ 15″	1,655	0,7773
$Ni\ \alpha_2$	17° 8′ 40″	1,659	0,7764

Tabelle 3.

Pl. 49. Kobalt.

Linie	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
$Co\ \beta_2$	16° 32′ 10″	1,602	0,7901
$Co\ \beta_1$	16° 39′ 35″	1,613	0,7873
$Ni\ \alpha_1$	17° 3′ 30″	1,651	0,7785
$Ni\ \alpha_2$	17° 5′ 55″	1,655	0,7774
$Co\ \alpha_1$	18° 27′ 0″	1,781	0,7493
$Co\ \alpha_2$	18° 29′ 30″	1,785	0,7485

Tabelle 4.

Pl. 50. Eisen.

Linie	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
$Fe\ \beta_2$	17° 58′ 0″	1,736	0,7590
$Fe\ \beta_1$	18° 6′ 0″	1,749	0,7556
$Fe\ \alpha_1$	20° 0′ 55″	1,926	0,7205
$Fe\ \alpha_2$	20° 3′ 40″	1,931	0,7197

Tabelle 5.

Pl. 51. Chromeisen.

Linie	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
$Fe\ \alpha_1$	20° 2′ 40″	1,929	0,7200
$Fe\ \alpha_2$	20° 4′ 55″	1,932	0,7194
$Cr\ \beta_2$	21° 34′ 0″	2,069	0,6953
$Cr\ \beta_1$	21° 40′ 30″	2,079	0,6936
$Cr\ \alpha_1$	23° 56′ 40″	2,284	0,6617
$Cr\ \alpha_2$	23° 59′ 0″	2,288	0,6612

Tabelle 6.

Pl. 52. Spiegeleisen.

Linie	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
$Fe\ \beta_2$	17° 57′ 10″	1,735	0,7593
$Fe\ \beta_1$	18° 5′ 10″	1,747	0,7565
$Mn\ \beta_1$	19° 44′ 15″	1,901	0,7254
$Fe\ \alpha_1$	20° 1′ 35″	1,927	0,7203
$Fe\ \alpha_2$	20° 4′ 10″	1,931	0,7196
$Mn\ \alpha_1$	21° 49′ 35″	2,092	0,6913
$Mn\ \alpha_2$	21° 51′ 55″	2,096	0,6907

Tabelle 7.

Pl. 53. Manganeisen.

Linie	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
$Mn\ \beta_1$	19° 45′ 10″	1,902	0,7251
$Fe\ \alpha_1$	20° 1′ 30″	1,927	0,7204
$Fe\ \alpha_2$	20° 4′ 10″	1,932	0,7195
$Mn\ \alpha_1$	21° 50′ 20″	2,094	0,6911
$Mn\ \alpha_2$	21° 53′ 0″	2,098	0,6904

Tabelle 8.

Pl. 54. Manganeisen.

Linie	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
$Mn\ \beta_2$	19° 38′ 45″	1,892	0,7270
$Mn\ \beta_1$	19° 46′ 5″	1,903	0,7248
$Fe\ \alpha_1$	20° 3′ 20″	1,930	0,7198
$Fe\ \alpha_2$	20° 5′ 45″	1,934	0,7191

Tabelle 9.

Pl. 55. Neusilber.

Linie	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
$Zn\ \beta_1$	13° 18′ 30″	1,296	0,8786
$Cu\ \beta_1$	14° 19′ 0″	1,392	0,8477
$Zn\ \alpha_1$	14° 45′ 40″	1,434	0,8351
$Zn\ \alpha_2$	14° 48′ 0″	1,438	0,8340
$Cu\ \alpha_1$	15° 52′ 55″	1,540	0,8058
$Cu\ \alpha_2$	15° 55′ 15″	1,544	0,8048
$(Ni\ \alpha_1)$	17° 7′ 20″	1,657	0,7769

Tabelle 10.

Pl. 56. Germanium.

Linie	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
$Ge\ \beta_2$	11° 29′ 35″	1,121	0,9443
$Ge\ \beta_1$	11° 35′ 20″	1,131	0,9405
$Ge\ \alpha_1$	12° 54′ 35″	1,257	0,8918
$Ge\ \alpha_2$	12° 56′ 55″	1,261	0,8905

Tabelle 11.

Pl. 58. Zink.

Linie	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
$Zn\ \beta_1$	13° 17′ 50″	1,294	0,8790
$Zn\ \alpha_1$	14° 45′ 20″	1,434	0,8352
$Zn\ \alpha_2$	14° 47′ 40″	1,437	0,8342

Tabelle 12.

Pl. 59. Zink.

Linie	φ	$\lambda \cdot 10^8$ cm	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$
$Zn\ \beta_2$	13° 9′ 10″	1,281	0,8837
$Zn\ \beta_1$	13° 16′ 20″	1,292	0,8797
$(Zn\ \alpha_3)$	(14° 40′ 30″)	(1,426)	(0,8375)
$Zn\ \alpha_1$	14° 44′ 0″	1,431	0,8359
$Zn\ \alpha_2$	14° 46′ 40″	1,436	0,8346

Die Resultate.

In der Tabelle 13 sind die erhaltenen Wellenlängen (die arithmetischen Mittel) zusammen mit den Werten von Moseley $M\alpha$, $M\beta$ angegeben.

Wie die Werte zeigen, sind die von uns erhaltenen Wellenlängen durchweg etwa 1 Proz. kleiner als die Moseleyschen[1]). Unsere Werte sind unter Verwendung der von Bragg angegebenen Gitterkonstante des Steinsalzes (log $2d = 0{,}75035$ berechnet). Es sei daran erinnert, daß Moseley bei seinen Messungen Ferrocyankalium als analysierenden Kristall be-

Tabelle 13.

Grundstoff	$\lambda \cdot 10^{-8}$ cm							
	β_2	β_1	α_1	α_2	$M\beta$	$M\alpha$	$\frac{\beta_1}{M\beta}$	$\frac{\alpha_1}{M\alpha}$
Chrom	2,069	2,079	2,284	2,288	2,093	2,301	0,9933	0,9926
Mangan	1,892	1,902	2,093	2,097	1,918	2,111	0,9917	0,9915
Eisen	1,736	1,748	1,928	1,932	1,765	1,946	0,9904	0,9908
Kobalt	1,602	1,613	1,781	1,785	1,629	1,798	0,9902	0,9905
Nickel	1,488	1,497	1,653	1,657	1,506	1,662	0,9940	0,9946
Kupfer	1,379	1,391	1,539	1,543	1,402	1,549	0,9922	0,9936
Zink	1,281	1,294	1,433	1,437	1,306	1,445	0,9908	0,9917
Germanium	1,121	1,131	1,257	1,261				

1) So ist auch der Fall mit den früheren Messungen von M. Siegbahn und E. Friman.

nutzt hat, dessen Gitterkonstante er zu $d = 8{,}454 \cdot 10^{-8}$ cm bestimmte. Eine kleine Änderung der Gitterkonstante würde die fehlende Übereinstimmung erklären können, wie die zwei letzten Kolonnen der Tabelle 13 zeigen. Allerdings sei bemerkt, daß die Abweichungen innerhalb der Genauigkeit unserer Kenntnis von d liegen.

Nach Moseley genügen die Werte von $\sqrt{\frac{1}{\lambda}}$ und die Ordnungszahlen der betreffenden Elemente einer linearen Beziehung. Daß dies für sämtliche vier Komponenten[1]) innerhalb dieses Gebietes richtig ist, zeigt Tabelle 14

Tabelle 14.

Grundstoff	$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot 10^{-4}$				
	β_2	β_1	α_1	α_2	$\alpha_1 - \alpha_2$
Chrom . . .	0,6953	0,6936	0,6617	0,6612	0,0005
Mangan . . .	0,7270	0,7251	0,6912	0,6906	6
Eisen . . .	0,7592	0,7561	0,7202	0,7195	7
Kobalt . . .	0,7901	0,7873	0,7493	0,7485	8
Nickel . . .	0,8198	0,8172	0,7778	0,7769	9
Kupfer . . .	0,8515	0,8479	0,8060	0,8050	10
Zink	0,8837	0,8790	0,8354	0,8343	11
—	—	—	—	—	—
Germanium .	0,9443	0,9405	0,8918	0,8905	13

und die graphische Darstellung.

Lund, Physikalisches Institut, 8. Febr. 1916.

(Eingegangen 10. Februar 1916.)

1) Der Komponentenabstand $\alpha_1 \alpha_2$ ist durch Ausmessung mit Komparator erhalten und gewährt daher eine größere Genauigkeit als die Absolutwerte der Wellenlängen.

ZUSAMMENFASSENDE BEARBEITUNGEN.

Einsteins Theorie der Gravitation und der allgemeinen Relativität.

Von Max Born.

Wenn eine neue physikalische Theorie mathematischer Hilfsmittel benötigt, die dem Arsenal des Physikers fremd sind, so gewinnt sie alsbald den Ruf großer Schwierigkeit und erfährt Ablehnung auch von solchen, die keineswegs konservativer Gesinnung sind. Darum mag ein Versuch nicht unwillkommen sein, die Einsteinsche Theorie der Gravitation und der allgemeinen Relativität, aller mathematischen Formen entkleidet, in ihrem gedanklichen Inhalte und in ihren Beziehungen zu gewohnten und anerkannten Vorstellungen darzustellen; denn mancher scheut die Mühe, sich eine neue mathematische Disziplin anzueignen, bevor er die Überzeugung von der Nützlichkeit und Notwendigkeit dieser Anstrengung durch Erkenntnis der Wichtigkeit des physikalischen Gegenstandes und der Richtigkeit der Grundgedanken gewonnen hat. In diesem Falle wird die Wichtigkeit des Problems der Gravitation wohl nicht bestritten werden; der Weg aber, auf dem Einstein die Lösung sucht, ist nicht nur richtig, sondern verblüffend großartig. Dieses Urteil, das mich selbst zur Niederschrift einer Einführung in Einsteins Gedanken drängt, wird natürlich der nicht zugeben, der den Wert einer Theorie nach dem praktischen Erfolge abschätzt; denn soweit es sich heute übersehen läßt, sind die Naturerscheinungen, die zur Prüfung der Theorie durch Beobachtungen dienen können, nur spärlich vorhanden. Die Größe und Tragweite der Theorie liegt im Reiche des Gedankens, in jenem Triebe zur Einheit und Widerspruchslosigkeit des Bildes, das der Extrakt unserer Naturerkenntnis ist. Durch die Unvorstellbarkeit der „absoluten" Bewegung hat Newton sich nicht davon abhalten lassen, diesen Begriff in die Grundlagen der Mechanik einzuführen, — und das mit Recht, da es dazumal darauf ankam, überhaupt ein in sich widerspruchloses System der Mechanik zu schaffen. Später hat dieser Begriff oder besser dieses Unding viel Kopfzerbrechen erregt, das sich in einer gewaltigen Literatur[1]) über den absoluten Raum, die absolute Zeit, die absolute Bewegung widerspiegelt. Die Erfolge der Mechanik aber haben einen Versuch zur Ausmerzung dieser „unvorstellbaren Vorstellungen" nie aufkommen lassen, bis Ernst Mach nachdrücklich die Forderung einer Revision der Grundlagen der Mechanik in diesem Sinne stellte. Dieselbe Forderung haben dann die Brüder Benedict und Immanuel Friedlaender in einer kleinen, leider wenig beachteten Schrift[2]) erhoben, in der nicht nur die Frage aufs klarste und gründlichste erörtert, sondern auch ein Experiment angegeben

1) Eine Übersicht über diese Literatur gibt A. Voß in der Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften, Band IV, 1. Ich möchte die Schriften von E. Mach, L. Lange, H. Streintz, C. Neumann nennen, die in einer neueren Arbeit von H. Seeliger (Sitzungsber. der math.-phys. Klasse der Kgl. Bayer. Ak. d. Wiss. Bd. **36**, 1906, S. 85) „über die sogenannte absolute Bewegung" zitiert sind.

2) Dr. Benedict Friedlaender und Dr. Immanuel Friedlaender, Absolute oder relative Bewegung? Berlin, Verlag von Leonhard Simion, 1896.

wird, das im Prinzipe durchaus geeignet ist, eine Entscheidung über die Existenz absoluter Bewegungen herbeizuführen. Doch von hier bis zu einer wirklichen Abänderung der Mechanik ist noch ein weiter Weg, den zu finden Einstein vorbehalten blieb.

Ich will aber diesen Gedankengang, der die absolute Bewegung wegen ihrer Unvorstellbarkeit aus den Grundlagen der Physik entfernen will, als zu abstrakt beiseite schieben und lieber das Problem der Gravitation an die Spitze stellen, das dann von selbst zu der ersten Fragestellung zurückleiten wird. Um dabei den richtigen Standpunkt zu finden, ist es notwendig, sich der geschichtlichen Entwicklung der physikalischen Wissenschaften bewußt zu werden und sie als Maßstab zu benutzen.

Das Grundgewölbe des riesigen Baues der exakten Naturwissenschaften ist die Mechanik Newtons, und diese ruht auf zwei Pfeilern, der Lehre von den Trägheitswiderständen und der Lehre von der Gravitation; diese Pfeiler sind durch einen Gewölbebogen verbunden, den Satz, daß die Quantität der Trägheit und der Gravitation eines Körpers ein und denselben Wert haben: „alle Körper fallen gleich schnell, träge und schwere Masse sind gleich".

Über diesem Fundamente erhebt sich nun das Gebäude, an dem zwei Jahrhunderte in rastloser Arbeit gewirkt haben. Man muß sich die einzelnen Stockwerke vor Augen stellen, um die Größe des Baues zu ermessen: Da ist zuerst Newtons eigene Ausarbeitung der astronomischen Grundtatsachen, die Erklärung der Kepplerschen Gesetze, der Störungen, dann die Anwendung seiner Prinzipien auf die irdische Mechanik und Optik; übergehen wir die geringeren unter seinen Schülern, so gelangen wir zu Euler und den Bernoullis, die die Newtonschen Gedanken von der Massenträgheit und Gravitation auf immer mehr Naturvorgänge anwandten, und sehen dann in den Händen der Franzosen, von Maupertuis, d'Alembert bis Lagrange und Laplace, die Newtonsche Mechanik zur Vollendung kommen. Die „mechanische Naturerklärung" war die Forderung, die aller Forschung zugrunde lag. Man verstand darunter die Zurückführung aller physikalischen Erscheinungen auf die Bewegungen der Moleküle, die man sich als kleine anziehende oder abstoßende träge Massen vorstellte, immer den bewundernden Blick auf die Astronomie gerichtet, wo dieser Gedanke Newtons so ungeheuer erfolgreich war. Dabei war man Newtonscher als Newton; denn diesem war sein Anziehungsgesetz niemals als das letzte Erklärungsprinzip erschienen, er fühlte die Schwierigkeit, unmittelbare Fernwirkungen vorzustellen, und sprach dies aus. Aber in demselben Maße, als die Erfolge des Gesetzes wuchsen, verlor sich die Kritik. Und wenn auch gelegentlich ein Forscher Bedenken fühlte, das Attraktionsgesetz als etwas schlechthin gegebenes anzusehen, und nach einer tieferen Erklärung suchte, so war doch der andere Pfeiler der Newtonschen Theorie, der Begriff der trägen Masse, bis in die neueste Zeit vor allen Angriffen sicher. So können wir den Sieg der Newtonschen Gedanken weiter ins 19. Jahrhundert hinein verfolgen; wir sehen, wie die Gesetze der Elastizität von Navier, Poisson und Cauchy auf die Vorstellung der anziehenden oder abstoßenden trägen Moleküle aufgebaut werden, wie dann dieselben Vorstellungen Laplace und Gauß zur Erklärung der Kapillarität dienen, und wie schließlich die großen, neu entstehenden Gebiete der Elektrizität und des Magnetismus von Coulomb und seinen Nachfolgern vollständig vom Standpunkte Newtons erfaßt werden. Wir können diesen Aufstieg der Newtonschen Prinzipien mit dem großen Triumphe der Astronomie schließen, der Entdeckung des Neptun durch Leverrier aus den Abweichungen von der Newtonschen Theorie, die sich in den Bahnen der bekannten Planeten zeigten.

Diese ganze Entwicklung muß man vor Augen haben, will man die Arbeit Einsteins richtig einschätzen. Denn die beiden Pfeiler der Newtonschen Theorie, die Gesetze der Trägheit und der Gravitation, sind es gerade, die, im Laufe der neueren Entwicklung ins Wanken geraten, durch Einstein einen gründlichen Umbau erfahren und einen gemeinsamen Unterbau erhalten, der sie von neuem befähigt, das ganze Gebäude zu tragen.

Man kann aber die Notwendigkeit dieses Schrittes nur verstehen, wenn man die oben angedeutete Entwicklung der Erklärungsprinzipien weiter verfolgt. Denn die Zwischenzeit hat mehrere Vorboten der Umwälzung gebracht und sie bis zu gewissem Grade vorbereitet. Den ersten Stoß hatte der Pfeiler der Attraktionskräfte auszuhalten. Nachdem Faraday, dem die Vorstellung der Fernwirkung unerträglich war, gezeigt hatte, daß auf dem Gebiete der elektrischen und magnetischen Vorgänge die entgegengesetzte, dem menschlichen Geiste so viel angemessenere Vorstellung der Nahwirkung nicht nur zulässig, sondern im höchsten Grade fruchtbar sei, gewann diese Nahwirkungstheorie durch Maxwell ein so vollkommenes mathematisches Gewand, daß sie den Kampf gegen die Attraktionen erfolgreich aufnehmen konnte. Und in demselben Maße, als die Lehren Maxwells Verbreitung gewannen,

versank die alte Forderung der mechanischen Naturerklärung, um dem neuen „elektromagnetischen Weltbilde“ Platz zu machen. Doch gelang diese Wandlung den Geistern nur durch eine kleine Vergeßlichkeit; die Gravitation selbst, das Vorbild aller Fernkräfte, wollte sich zwanglos keiner Nahwirkungstheorie fügen; man zuckte die Achseln, wies das Gebiet der Schwerkraft aus dem Reiche der Physik aus und überließ es den Astronomen. Bei diesen aber war die Newtonsche Überlieferung in sicherer Hut.

Halten wir an dem Bilde von den beiden Pfeilern fest, so können wir also sagen, daß der Pfeiler der Attraktionskräfte von dem Bau der irdischen Physik entlastet worden ist, indem man diese auf neue Fundamente stützte, daß man ihn aber weiter die himmlische Physik, die Astronomie, tragen ließ. Mancher hat diesen Dualismus schmerzlich gefühlt, aber erst in neuester Zeit begannen die Versuche, ihn auszumerzen.

Inzwischen wurde der andere Pfeiler angesägt. Die träge Masse verlor ihren ursprünglichen, substantiellen Charakter und ihre Unveränderlichkeit. Auch diese Wandlung kam von der Elektrodynamik her. Man entdeckte die Trägheit bewegter elektrischer Ladungen und durchstrahlter Hohlräume; man sprach erst von „scheinbarer Masse“, bis man erkannte, daß dem Elektron keine andere als elektromagnetische Masse zukäme. Jetzt begab man sich, entsprechend dem wachsenden Erfolge des Schlagworts vom elektromagnetischen Weltbilde, auf den entgegengesetzten Standpunkt und wollte in der Trägheit der Materie überhaupt nichts sehen als die Wirkung der in ihr verteilten elektrischen Ladungen. Doch hingen diese Gedanken einigermaßen in der Luft, bis die Entdeckung des Relativitätsprinzips der Elektrodynamik die Lage klärte durch Aufstellung des Satzes von der Trägheit der Energie.

Diese erste große Leistung Einsteins erscheint heute nur als Vorarbeit zur allgemeinen Relativität, die die Luft reinigte; sie zeigt aber das Wesen der Einsteinschen Denkweise, das auch in der neuen Theorie den Ausschlag gibt. Es handelt sich darum, daß eine merkwürdige physikalische Erscheinung in das Gefüge der geltenden Anschauungen nicht hereinpaßt; so bewies der Michelsonsche Versuch, daß die Lichtgeschwindigkeit von der Erdbewegung unabhängig ist, entgegen den herrschenden Theorien. Einstein sucht nicht nach „physikalischen Erklärungen“ in der gewöhnlichen Bedeutung des Wortes, durch Einführung geeigneter Kräfte oder verborgener Massen im Sinne der alten Mechanik; sondern er dreht den Sachverhalt um, erhebt die zu erklärende Tatsache, gehörig verallgemeinert, zum Prinzipe und stellt die Frage, ob dieses Prinzip (z. B. die Unabhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit vom Bewegungszustande des Bezugssystems) mit den allgemein anerkannten Grundsätzen vereinbar sei und welche Folgerungen aus ihm fließen. Die Fruchtbarkeit dieser Wendung, die dem oberflächlichen Urteile ein billiger Ausweg scheinen mag, ist durch den Erfolg bewiesen worden.

Sehen wir nun des näheren zu, welche Stellung das elektrodynamische Relativitätsprinzip zu den beiden Pfeilern der Newtonschen Mechanik einnimmt, so haben wir neben der Klärung des Massebegriffs, auf den wir schon hinwiesen, den starken Impuls nach Vereinheitlichung des Weltbildes hervorzuheben, der sich mit der traditionellen Absonderung der Gravitation nicht zufrieden geben konnte. Was den ersten Punkt betrifft, so gipfeln die Aussagen des Relativitätsprinzips in folgenden Sätzen: Die Energie besitzt Trägheit, daher kann Trägheit mit (zum Teil verborgener) Energie identifiziert werden. Andererseits ist die Dichte der Energie kein Skalar, d. h. nicht vom Bezugssysteme unabhängig, sondern tritt als Komponente eines vierdimensionalen Tensors, des Impuls-Energie-Tensors, auf. Aus der Vereinigung beider Sätze geht hervor, daß auch die Massendichte ihren skalaren Charakter verliert. Gleichzeitig mit dieser Erkenntnis hat nun, wie gesagt, das Bestreben eingesetzt, die Gravitation aus ihrer Sonderstellung zu entfernen; aber die aufgezählten Sätze zeigen, welche neue Schwierigkeiten diesem Unterfangen entgegentreten. Der heikelste Punkt ist jenes Gewölbe, das die Pfeiler der Newtonschen Lehre verbindet, der Satz von der Gleichheit der trägen und schweren Masse. Gemäß diesem Satze pflegt man die Masse der Körper mit der Wage zu bestimmen, d. h. durch Vergleich der Anziehung, die sie von der Erdkugel erfahren. Dabei hat sich niemals eine Unstimmigkeit ergeben. Aber über diese fortlaufende mittelbare Kontrolle hinaus ist der Satz durch direkte Messungen nachgeprüft worden; die Versuche von Eötvös haben ihn mit einer Genauigkeit bestätigt, die wohl alle andern physikalischen Messungen übertrifft. Will man nun diese Erfahrungstatsache als absolut genaues Gesetz ansehen, so wird, da Trägheit mit Energie identisch ist, jede Energie auch schwer sein, und da andererseits Energie nur relativ (kein Skalar) ist, so wird auch die schwere Masse diese Eigenschaft bekommen und aller Substanzialität verlustig gehen. Oder man muß jenes Gesetz nur als Näherung gelten lassen. Wegen dieser Schwierigkeiten,

die der Satz von der Gleichheit der trägen und schweren Masse einer Einfügung der Gravitation in das elektrodynamische Weltbild entgegensetzt, begnügte man sich zuerst mit einer formalen Einordnung (Poincaré, Minkowski, Sommerfeld); man stellte in Analogie mit den Formeln für die bekannten elektromagnetischen Potentiale ein Fernwirkungsgesetz auf, welches gegen die Lorentz-Transformationen invariant ist und bei kleinen Geschwindigkeiten in das Newtonsche Gesetz übergeht. Wer aber entschlossen war, das Relativitätsprinzip nicht anzuerkennen und der ganzen Forschungsrichtung den Rücken zu kehren, der konnte sich gerade auf diese Schwierigkeiten der Gravitationstheorie berufen. Das tat Abraham; ja, er ging noch weiter und fiel den Verfechtern der Relativität in den Rücken, indem er sich erkühnte, eine Nahwirkungstheorie der Gravitation auf Grund der Anschauungen vom absolut ruhenden Äther ohne innere Widersprüche aufzubauen. Dabei benutzte er freilich trotz seiner Feindschaft die durch das Relativitätsprinzip aufgedeckten energetischen Zusammenhänge in reichem Maße, und diese Inkonsequenz beraubt sein System aller inneren Wahrscheinlichkeit. Zu gleicher Zeit begann Einstein sein Werk, das ihn schließlich zur Aufstellung der allgemeinen Relativität führte; und im Wetteifer mit beiden arbeiteten Mie und Nordström. Auf die Ergebnisse dieser Forscher will ich hier nicht eingehen; jeder einzelne hat einen wertvollen Beitrag geliefert, aber sie sind alle nicht bis zu der Allgemeinheit der Auffassung durchgedrungen, die Einstein gleich von Anfang an gewonnen hat. Dabei darf man nicht verschweigen, daß die ersten Publikationen Einsteins mathematische Irrtümer enthielten, die erst in den letzten Mitteilungen richtig gestellt worden sind. Zuletzt aber hat die Theorie eine so einfache Form angenommen, daß sie jedem zugänglich sein muß, der die Mühe nicht scheut, die Grundlagen der Differentialgeometrie sich anzueignen.

Wie in der gewöhnlichen Relativitätstheorie erhebt Einstein gerade den Satz, der sich am schwersten in das Gefüge der anderen einordnet, zum Prinzipe. Der Satz, daß die Schwere auf alle Körper gleich stark wirkt, soll in aller Strenge gelten. Die oben erörterten Schwierigkeiten des Massebegriffs verbieten aber, diese Forderung ohne weiteres wie in der Newtonschen Mechanik auszusprechen, mit den Worten: Schwere und träge Masse sind gleich. Vielmehr muß man eine andere Formulierung suchen. In der Newtonschen Mechanik wird einem Beobachter, der sich auf einer geraden Linie mit gleichförmiger Beschleunigung bewegt, ein allen Kräften entzogener, also ruhender oder gleichförmig bewegter Massenpunkt in gleichförmig beschleunigter Bewegung erscheinen, gerade so, wie wenn der Punkt in einem homogenen Gravitationsfelde fiele. Umgekehrt erscheint ein im homogenen Gravitationsfelde fallender materieller Punkt von beliebiger Masse einem Beobachter ruhend, wenn dieser sich mit geeigneter Beschleunigung in Richtung des Gravitationsfeldes bewegt. Diese Formulierung der in Frage stehenden Tatsache eignet sich nun zur Verallgemeinerung. Einstein erweitert sie nämlich auf beliebige Bewegungen; aber indem er gleichzeitig das Relativitätsprinzip in möglichst weitem Umfange aufrecht erhalten will, wird er gezwungen, an den Grundlagen unserer Raum- und Zeitvorstellungen zu rütteln.

Einstein fordert, daß jede, unter der Wirkung anziehender Körper stattfindende Bewegung eines Körpers durch geeignete Bewegung des Beobachters aufgehoben, daß umgekehrt jede durch Bewegung des Beobachters entstehende Änderung der Erscheinungen als Wirkung eines Gravitationsfeldes aufgefaßt werden könne, ohne daß es ein physikalisches Mittel gibt zwischen beiden Wirkungen, Bewegung des Beobachters und Gravitation, zu unterscheiden; das heißt aber mathematisch, daß erstens die Gesetze der kräftefreien Trägheitsbewegung und der Bewegung in beliebigen Gravitationsfeldern in ein einheitliches Grundgesetz höherer Art vereinigt werden sollen, und daß zweitens eine beliebige Transformation der Raum-Zeit-Mannigfaltigkeit, der vierdimensionalen Minkowskischen Welt, keine Änderung an den Gesetzen der Erscheinungen bewirken darf, sofern nur jenes Grundgesetz der Trägheits- und Gravitationsbewegung dabei unverändert bleibt. Das bedeutet die Relativität aller Vorgänge im weitesten Sinne.

Auf welche Weise soll man aber zu dem Grundgesetze der Trägheits- und Gravitationsbewegung gelangen? Einstein gebraucht dazu wiederum eine einfache Umformulierung der Newtonschen Trägheitsgesetze, durch die die verlangte Verallgemeinerung relativ nahe gelegt wird. Anstatt nämlich mit Newton zu sagen, ein sich selbst überlassener Massenpunkt bewegt sich geradlinig und gleichförmig, sagt Minkowski, die Weltlinie des Punktes ist eine Gerade im vierdimensionalen Raume, und Einstein schließlich sagt, die Weltlinie ist die kürzeste Verbindung zwischen zwei Punkten der vierdimensionalen Welt. Betrachtet man nun den bewegten Punkt von einem irgendwie beschleunigten Bezugssysteme, so heißt das, man führt statt Koordinaten und Zeit durch eine beliebige Transformation vier neue Veränder-

liche ein; dabei behält aber das Gesetz der Punktbewegung in der Einsteinschen Fassung seine Form, da ja darin nichts enthalten ist, was auf die Koordinaten und das Zeitmaß Bezug hat. Allerdings ändert sich der mathematische Ausdruck für den Abstand zweier Weltpunkte auf einer Weltlinie; lautete er vorher wie in der gewöhnlichen Relativitätstheorie

$$\int \sqrt{dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 + dx_4^2},$$

wo x_1, x_2, x_3 die rechtwinkligen Koordinaten, $\frac{x_4}{ic}$ die Zeit bedeuten, so geht er durch eine beliebige Transformation in

$$\int \sqrt{g_{11}\,dx_1^2 + \cdots + g_{44}\,dx_4^2 + 2g_{23}\,dx_2\,dx_3 + \cdots + 2g_{34}\,dx_3\,dx_4}$$

über, wo die Koeffizienten g_{ik} der quadratischen Form unter dem Wurzelzeichen aus den ersten Ableitungen der Transformationsfunktionen gebildet sind.

Soweit ist noch nichts Neues geschehen. Doch ist die letzte Fassung des Trägheitsgesetzes tatsächlich der Form nach schon so allgemein, daß sie fähig ist, alle Gravitationsbewegungen darzustellen. Dazu ist es nur nötig, die 10 Größen g_{ik} als beliebige Funktionen in der vierdimensionalen Welt anzusehen und zu fordern, daß die Bewegung eines Massenpunktes unter jenen Wirkungen, die wir bisher als Trägheit und Gravitation unterschieden, so geschieht, daß die Variation des Integrals

$$\int \sqrt{g_{11}\,dx_1^2 + \cdots\cdots + 2g_{34}\,dx_3\,dx_4},$$

erstreckt über seine Weltlinie, verschwindet; mit anderen Worten, die Trägheits- und Gravitationsbewegungen sollen durch die geodätischen Linien der vierdimensionalen Mannigfaltigkeit mit dem Linienelemente

$$ds^2 = g_{11}\,dx_1^2 + \cdots + g_{44}\,dx_4^2 + 2g_{23}\,dx_2\,dx_3 + \cdots + 2g_{34}\,dx_3\,dx_4$$

dargestellt werden.

Jetzt sind also die g_{ik} nicht mehr jene festen, durch die Transformation der rechtwinkligen auf krummlinige Koordinaten bestimmten Ausdrücke, von denen wir ausgingen, sondern irgendwelche Funktionen, die durch die Anwesenheit aller übrigen Körper bedingt sind. Gerade der letzte Punkt ist natürlich der wichtigste; denn die ganze Aussage gewinnt erst ihren Sinn, wenn gesagt wird, welche Funktionen die g_{ik} eigentlich sind. Da sie die Bewegung in ähnlicher Weise bestimmen, wie das Gravitationspotential der Newtonschen Theorie, so kann man sie auch als die 10 Potentiale des Gravitationsfeldes bezeichnen.

Die neue Formel bleibt solange ein Programm, bis folgende Fragen beantwortet sind: Wie bestimmen sich die Potentiale g_{ik} durch die vorhandenen Massen? Ergeben sich daraus in erster Näherung solche Werte der g_{ik}, daß unsere Gleichungen der geodätischen Linie in die Newtonschen Bewegungsgleichungen im Schwerefelde übergehen? Wenn die Antworten hierauf günstig lauten, dann bleibt endlich die wichtige Frage, wie müssen die übrigen Gesetze der Physik geändert werden, damit die Grundforderung der Theorie erfüllt wird, daß durch keine physikalische Messung zwischen Trägheit und Gravitation unterschieden werden kann?

Ehe wir an diese Aufgaben herantreten, wollen wir einige ganz allgemeine, historische und mathematische Bemerkungen einschalten. In der Einsteinschen Theorie nimmt, wie man sieht, die Gravitation eine ganz andere Stellung ein, als alle übrigen Kräfte. In der Tat, eine „Schwerkraft" im Sinne der alten Mechanik gibt es nicht mehr. Hier ist es nötig an die berühmte Mechanik von Heinrich Hertz zu erinnern. Dieser hat die Forderung aufgestellt, den Kraftbegriff überhaupt aus der Mechanik zu verbannen. Jede Bewegung ist nach Hertz eine reine Trägheitsbewegung; krumme Bahnen und Beschleunigungen sind Folgen kinematischer Zwangsbedingungen. Zur Aufstellung der Bewegungsgleichungen dient das „Prinzip der geradesten Bahn". Schon der Name weist auf die Verwandtschaft mit dem Einsteinschen Grundgedanken hin. Deutet man die Freiheitsgrade des Massensystems als Koordinaten eines Punktes im n-dimensionalen Raume, so ist die „geradeste Bahn" von Hertz offenbar durchaus ein Analogon zur Einsteinschen „kürzesten oder geodätischen Weltlinie". Von diesem Standpunkte aus erscheint der Ansatz Einsteins als geradlinige Fortsetzung der vielbewunderten Mechanik von Hertz, ein vollkommen durchgeführter Fall der Elimination einer Kraft. Wer die Mechanik von Hertz anerkennt, kann die Mechanik von Einstein nicht schlankweg ablehnen.

Man wird nun fragen, warum Einstein bei der Gravitation halt macht und nicht die andern Kräfte in ähnlicher Weise beseitigt. Dazu ist einmal zu sagen, daß eben die Gravitation, die auf alle Körper gleich stark wirkt, in der Natur wirklich eine ausgezeichnete Rolle spielt, die ihr in der Rangordnung der Gesetzmäßigkeiten einen höheren Platz anweist. Außerdem aber ist es ja auch gar nicht wahr, daß die andern Kräfte in der alten Newtonschen Weise beibehalten werden. Wir haben schon

oben dargelegt, wie die Entwicklung der Elektrodynamik zersetzend auf die Newtonschen Begriffe eingewirkt hat. Die „mechanische Kraft" eines elektromagnetischen Feldes ist schon lange zu einem Hilfsbegriffe herabgesunken; an seine Stelle ist das Begriffssystem des Impuls-Energie-Tensors getreten. Und in ähnlicher Weise beginnen sich überall die Vorstellungen zu wandeln.

Was nun die mathematische Durchführung der Einsteinschen Theorie betrifft, so handelt es sich um die Geometrie einer vierdimensionalen Mannigfaltigkeit, deren Linienelement eine quadratische Form der Koordinatendifferentiale ist. Die hierzu nötige Mathematik liegt in vollem Umfange in der Literatur vor. Nachdem Gauß die Theorie der zweidimensionalen Gebilde (Flächen im Raume von 3 Dimensionen) entwickelt hatte, ist die Lehre von den n-fach ausgedehnten Mannigfaltigkeiten von Riemann in seiner berühmten Habilitationsschrift ausgeführt worden. Dann haben Christoffel, Ricci und Levi-Civitá einen bequemen Algorithmus ausgearbeitet, den man den „absoluten Differentialkalkül" nennt. Einstein hat im wesentlichen diesen Formalismus übernommen.

Hier wollen wir diese mathematische Theorie gleich in dem physikalischen Gewande erläutern, die sie durch Einstein erhalten hat.

Die grundlegende Tatsache der vollständigen Relativität kommt darin zum Ausdrucke, daß in der Einsteinschen Welt die Koordinaten und die Zeit jeder physikalischen Bedeutung bar sind. Man muß sich klar sein, daß das in der klassischen Theorie nicht der Fall ist; denn in dieser gibt es ausgezeichnete Bezugssysteme, Inertialsysteme genannt, in denen die physikalischen Gesetze in ihrer einfachsten Form gelten, und diese Bezugssysteme sind nicht relativ zu bestimmten Körpern definiert, sondern gewissermaßen Eigentümlichkeiten des absoluten leeren Raumes und der absoluten Zeit. Die Literatur über diese Frage ist unübersehbar und zeigt, wie ungern sich der Menschengeist mit einer Theorie abfindet, die dem leeren Raume Eigenschaften beilegt. Bei Einstein fällt das fort; beliebige Transformationen sollen zulässig sein, die Gesetze der Physik sollen in allen, nicht nur in gewissen ausgezeichneten Bezugssystemen in der gleichen Form gelten. Damit scheint zunächst jeder feste Halt verloren zu gehen, alles zerfließt und zerrinnt, und manchem, der das neue Gebiet betritt, mag zu Mute sein wie dem Wanderer, der ein Moor durchquerend den Boden unter den Füßen verliert. Doch ist es leicht, ihm die Furt zu weisen, die ihn vor dem Versinken rettet. In der Theorie der krummen Flächen sind wir seit Gauß gewohnt, die Punkte einer Fläche auf irgend zwei Kurvenscharen zu beziehen, die die Fläche netzartig überdecken. Alle Gesetzmäßigkeiten der Fläche, die durch Verschiebung und unelastische Verbiegung der Fläche im Raume nicht zerstört werden, bei denen also der Abstand benachbarter Punkte, das Linienelement, konstant ist, bleiben, in diesen Kurvenkoordinaten ausgedrückt, völlig ungeändert, wenn man zu einem beliebigen andern Bezugssysteme übergeht. Man denke etwa an die Formeln für die Krümmung in Gaußschen Koordinaten. Hier haben wir eine vollständige Analogie für die Forderung der allgemeinen Relativität; ja es ist mehr als Analogie, denn mathematisch handelt es sich bei Einstein um dieselben Begriffe und Formeln in der vierdimensionalen Welt, die seit Gauß für zweidimensionale Flächen jedem geläufig sind. Auf einen Punkt ist besonders hinzuweisen. Zwei Flächen, die man durch Verbiegung zur Deckung bringen kann, haben in entsprechenden Punkten dasselbe Linienelement; auf ihnen gilt also dieselbe Geometrie. Die Länge des Linienelements gilt dabei als eine mit Hilfe starrer Maßstäbe im Raume vergleichbare und meßbare Größe. Im Falle der vierdimensionalen Welt, in der wir selber gefangen sitzen, steht uns kein Maßstab zur Verfügung, der in einer Mannigfaltigkeit höherer Dimension sich ohne weiteres als starr erweist. Gleichwohl muß die Einsteinsche Theorie die Annahme machen, daß die vierdimensionale Entfernung zweier benachbarter Punkte eine meßbare Größe sei; das bedeutet aber physikalisch die Voraussetzung der Existenz starrer Maßstäbe und vergleichbarer Uhren im Unendlichkleinen. Die Theorie läßt sich überhaupt nur auf die Erscheinungswelt anwenden, wenn man annimmt, daß es in der Natur solche Körper und Vorgänge gibt, die sich im Unendlichkleinen als Maßstäbe und Uhren gebrauchen lassen und daß wir durch die Erfahrung solche Körper allmählich immer besser kennen und gebrauchen lernen. In der bisher geltenden Mechanik wurde viel mehr verlangt, nämlich die Existenz von Maßstäben und Uhren im Endlichen. Praktisch ist der Unterschied nicht sehr groß; denn es ist wohl klar, daß Räume riesiger, sogar astronomischer Dimension bei der Ungenauigkeit unserer Messungen für die Einsteinsche Theorie noch unendlich klein sind, — wie könnte sonst die gewöhnliche Auffassung, die doch als Grenzfall herauskommen muß, sich auch nur annähernd bewährt haben?

Um sich eine Vorstellung von der physikalischen Bedeutung des Linienelements zu machen, denke man daran, daß im Unendlichkleinen die gewöhnliche Relativitätstheorie gilt.

Daher zerfallen alle von einem Weltpunkte ausgehenden Linienelemente in zeitartige und raumartige, die durch einen Kegel getrennt sind, dessen Linienelemente gleich Null sind. Hat man nun zwei zeitlich und räumlich benachbarte Ereignisse, so kann man, wenn das sie verbindende Weltlinienelement zeitartig ist, ein solches Bezugssystem einführen, daß beide Ereignisse am selben Orte statthaben; dann ist der Zeitunterschied zwischen ihnen, gemessen mit den oben definierten Uhren, gleich dem Linienelemente. Oder aber das verbindende Linienelement ist raumartig; dann werden die Ereignisse in einem geeigneten Bezugssysteme gleichzeitig erscheinen, und das Linienelement ist gleich dem räumlichen Abstande, gemessen mit den oben definierten Maßstäben. Endlich betrachten wir den Fall eines verschwindenden Linienelements; in der gewöhnlichen Relativitätstheorie bedeutet die Relation

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 - c^2\,dt^2 = 0$$

eine Bewegung mit Lichtgeschwindigkeit:

$$\sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} = c.$$

Die entsprechende Gleichung der allgemeinen Relativitätstheorie

$$ds^2 = g_{11}\,dx_1^2 + \cdots + g_{44}\,d_4^2 + 2g_{21}\,dx_2\,dx_3 + \cdots = 0$$

wird dieselbe Bedeutung haben; die zugehörigen geodätischen Linien sind die Weltlinien der Lichtausbreitung.

Nun kann man ohne Rechnung bereits einige Folgerungen ziehen, die der neuen Theorie eigentümlich sind und später zu ihrer experimentellen Prüfung herangezogen werden. Die idealen Uhren und Maßstäbe, deren Existenz wir voraussetzen, erlauben das Linienelement zu messen. Ist nun dieses zeitartig, so wird bei geeigneter Wahl des Bezugssystems eine solche Uhr an einem festen Orte direkt das Linienelement als Zwischenzeit ablesen lassen, indem für

$$dx = dy = dz = 0$$

die Formel

$$ds^2 = dx_4^2 = -c^2\,dt^2$$

gilt; bringt man nun aber die Uhr an einen andern Ort, so wird dieselbe Uhrablesung $\frac{ds}{ic}$ nicht mehr mit der dort geltenden Zwischenzeit dt übereinstimmen, denn es gilt nun für

$$dx_1 = dx_2 = dx_3 = 0$$
$$ds^2 = g_{44}\,dx_4^2 = -c^2\,g_{44}\,dt^2,$$

wo g_{44} von Ort zu Ort verschiedene Werte hat. Die Angaben einer idealen ruhenden Uhr hängen also vom Gravitationsfelde ab. Das Entsprechende geht für die Maßstäbe aus der Betrachtung raumartiger Linienelemente hervor. Betrachten wir endlich verschwindende Linienelemente, so definiert die Gleichung

$$ds^2 = g_{11}\,dx_1^2 + \cdots + 2g_{23}\,dx_2\,dx_3 + \cdots = 0$$

in einem beliebigen Bezugssysteme eine krumme Kurve; das bedeutet, die Lichtstrahlen werden durch das Schwerefeld abgelenkt.

Es wird sich nun darum handeln, wie groß diese Einflüsse auf Uhren, Maßstäbe und auf den Strahlengang zu erwarten sind und ob sie beobachtet werden können. Dazu ist natürlich notwendig, die Koeffizienten des Linienelements wirklich zu kennen.

Wir gelangen damit zu der Hauptaufgabe der Theorie, nämlich anzugeben, wie die Gravitationspotentiale g_{ik} von der Verteilung der Körper im Raume abhängen, d. h. die Verallgemeinerung des Newtonschen Anziehungsgesetzes aufzustellen. Da natürlich die Vorstellungen der Nahwirkungstheorie maßgebend sind, so ist an Stelle des expliziten Newtonschen Gesetzes von der Differentialgleichung für das Gravitationspotential $\Delta\varphi = -4\pi\varrho$ auszugehen, wo ϱ die Massendichte ist; ihre Verallgemeinerung wird in 10 Differentialgleichungen für die 10 Funktionen g_{ik} bestehen. Diese Gleichungen müssen invariant gegenüber beliebigen Transformationen sein und werden auf der rechten Seite an Stelle der Massendichte die Dichte der Gesamtenergie enthalten, gemäß der Forderung, daß die Ergebnisse der alten Relativitätstheorie möglichst aufrecht zu erhalten sind; ferner müssen sie so eingerichtet werden, daß der Impuls-Energiesatz für alle Energiearten einschließlich der Gravitationsenergie selbst erfüllt bleibt. Außer diesen ganz natürlichen Forderungen nimmt Einstein nur noch aus der Newtonschen Theorie die Annahme herüber, daß die Differentialgleichungen von der zweiten Ordnung sein sollen. Dann zeigt er — und das ist wohl die Hauptleistung —, daß sich die Differentialgleichungen ohne weitere Willkür hinschreiben lassen.

Um zu erläutern, wie diese 10 invarianten Differentialgleichungen 2. Ordnung zustandekommen, kann man an den Gedankengang Riemanns in seiner schon genannten grundlegenden Arbeit über die mehrfach ausgedehnten Mannigfaltigkeiten anknüpfen. Es sei P_1 irgendein Punkt in der vierdimensionalen Welt, und P_2 ein Nachbarpunkt, der um ds von P_1 entfernt ist. Dann ist

$$ds^2 = g_{11}\,dx_1^2 + \cdots + 2g_{23}\,dx_2\,dx_3 + \cdots.$$

Nun verschieben wir den Punkt P_1 nach Q_1 derart, daß die Koordinaten von P_1 um $d\xi_1$, $d\xi_2$, $d\xi_3$, $d\xi_4$ vermehrt werden, und verbinden

Q_1 mit demjenigen Nachbarpunkte Q_2, dessen Koordinaten sich von denen des Punktes Q_1 um dieselben Beträge dx_1, dx_2, dx_3, dx_4 unterscheiden, wie die Koordinatendifferenzen zwischen P_1 und P_2. Ist $d\sigma$ das Linienelement zwischen Q_1 und Q_2, so entsteht offenbar $d\sigma^2$ aus ds^2, indem man in jedem Koeffizienten g_{ik} die Koordinaten um $d\xi_1$, $d\xi_2$, $d\xi_3$, $d\xi_4$ vermehrt; dann ist g_{11} nach dem Taylorschen Satze durch

$$g_{11} + \left(\frac{\partial g_{11}}{\partial x_1} d\xi_1 + \cdots\right) + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial^2 g_{11}}{\partial x_1^2} d\xi_1^2 + \cdots + 2\frac{\partial^2 g_{11}}{\partial x_2 \partial x_3} d\xi_2 d\xi_3 + \cdots\right) + \cdots$$

zu ersetzen, und man erhält

$$d\sigma^2 = ds^2 + \sum_{ikl}' \frac{\partial g_{ik}}{\partial x_l} d\xi_l dx_i dx_k + \frac{1}{2}\sum_{iklm} \frac{\partial^2 g_{ik}}{\partial x_l \partial x_m} d\xi_l d\xi_m dx_i dx_k + \cdots.$$

Man kann nun durch geeignete Wahl des Koordinatensystems beweisen, daß die dreifache Summe verschwindet. Die vierfache Summe aber hat dann folgende Bedeutung: Wenn sie verschwindet, so werden auch, wie man zeigen kann, alle folgenden Glieder der Entwicklung gleich Null, und man erhält $d\sigma = ds$; bei einer Verschiebung zweier Punkte unter Beibehaltung ihrer Koordinatendifferenzen ändert sich also das Bogenelement nicht, d. h. in dem Raume gibt es endliche starre Körper, die sich frei bewegen lassen. Die vierfache Summe mißt also die Abweichungen des Raumes von dem gewohnten Verhalten, oder, wie es Riemann nennt, die „Krümmung" des Raumes. Die Koeffizienten dieser vierfachen Summe bilden einen sogenannten Tensor vierten Ranges, dessen fundamentale Bedeutung für die Eigenschaften des Raumes aus dem Gesagten wohl genügend hervorleuchtet. Er ist der einzige Tensor vierten Ranges und zweiter Ordnung, der allein von den g_{ik} abhängt, und aus ihm läßt sich nur auf eine Weise ein Tensor zweiten Ranges und zweiter Ordnung bilden. Der letztere hat 10 Komponenten, die Differentialausdrücke der g_{ik} sind; indem Einstein diese den 10 Komponenten des Energie-Spannungstensors der Materie, d. h. der übrigen Energiearten, proportional setzt, gewinnt er die gesuchten Grundgleichungen des Schwerefeldes. Der Proportionalitätsfaktor ist die Gravitationskonstante. In diesem Gedankengange ist Willkür fast ganz ausgeschaltet. Um so überraschender ist es, wenn man sieht, wie diese aus ganz allgemeinen Gesichtspunkten gewonnene Theorie in erster Näherung auf die bekannten ganz speziellen Newtonschen Bewegungsgleichungen führt.

Diese erste Näherung geht davon aus, daß das im leeren Weltenraume bei geeigneter Wahl der Koordinaten gültige Linienelement

$$ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 + dx_4^2$$

durch die Wirkung der Sonne am Orte eines Planeten nur sehr wenig geändert wird; d. h. die Potentiale $g_{11}, g_{22}, g_{33}, g_{44}$ unterscheiden sich von 1 nur um kleine Größen erster Ordnung, die Potentiale $g_{23}, g_{31} \ldots$ sind selbst kleine Größen erster Ordnung. Schreibt man dann die Differentialgleichungen bis auf Glieder erster Ordnung hin, so erhält man durch Integration leicht das Gravitationsfeld in erster Näherung. Merkwürdig ist dabei, daß die $g_{23}, g_{31} \ldots$ keineswegs als Null herauskommen, daß es also schon in erster Näherung mehr als ein Gravitationspotential gibt; Einstein hatte zuerst das Gegenteil vermutet und war auf Umwege und unrichtige Ansätze gedrängt worden, als er seine Vermutung nicht bestätigt fand. Trotz dieser verwickelten Darstellung des Feldes lauten die Differentialgleichungen der geodätischen Linie vollkommen ebenso wie die Newtonschen Bewegungsgleichungen; alle Potentiale außer g_{44} fallen heraus, und g_{44} spielt dann formal die Rolle des gewöhnlichen Gravitationspotentials.

Wenn man dieses Ergebnis als zu selbstverständlich ansieht, um es als Bestätigung der Theorie selbst gelten zu lassen, so gibt es doch andere Erscheinungen, die durch die neue Theorie schon in erster Näherung anders als gewöhnlich herauskommen und zur Prüfung dienen können. Erinnern wir uns der oben erläuterten Bedeutung des Linienelements, insbesondere zunächst des Falles, daß es zeitartig ist.

Wir sahen, daß sich eine Abhängigkeit des Ganges einer idealen Uhr vom Gravitationsfelde ergeben hat. Nun wird wohl niemand zögern, die schwingenden Atome oder Moleküle eines leuchtenden Gases als von der Natur selbst konstruierte ideale Uhren anzusehen. Die Periode des Lichtes ein und derselben Spektrallinie auf der Erde und auf der Sonne oder einem Fixsterne wird also, mit irdischen Uhren gemessen, verschieden sein; die genauere Rechnung ergibt eine Verschiebung der Spektrallinien nach Rot (bei der Sonne im Betrage $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 2 \cdot 10^{-6}$).

Eine vollkommen zwingende Bestätigung dieser Folgerung der Theorie scheint noch nicht erbracht zu sein, doch ist bereits viel Material gesammelt, das zu ihren Gunsten spricht.

Die von der Theorie geforderte Krümmung der Lichtstrahlen könnte ebenfalls geprüft werden, wenn man das Licht eines Fixsterns be-

obachtet, das dicht an der Sonne oder einem Planeten vorbeistreicht; die Ablenkung betrüge bei der Sonne bestenfalles 1,7″. Zur Untersuchung dieser Frage war zur Zeit der totalen Sonnenfinsternis von 1914 eine Expedition unter E. Freundlich nach Südrußland geschickt worden; doch wurden ihre Bemühungen teils durch tückische Wolken, teils durch den Ausbruch des Weltkrieges vereitelt. Wenn es nicht gelingt, die Erscheinung an den großen Planeten zu untersuchen, wird man die nächste totale Sonnenfinsternis abwarten müssen.

Die Ausbeute dieser Effekte 1. Ordnung ist also gering; um so wichtiger ist es, daß es einen Effekt 2. Ordnung gibt, der von der Erfahrung voll bestätigt wird. Das ist die Perihelbewegung der Merkurbahn. Die Rechnungen der Astronomen haben nämlich ergeben, daß die Berücksichtigung der Störungen aller bekannten Planeten ein Fortschreiten des Perihels der Merkurbahn um 43″ in hundert Jahren unerklärt lassen.

Es sind viele Hypothesen ersonnen worden, um diesen Widerspruch gegen die Newtonsche Theorie aufzuheben, jedoch keine hat große Überzeugungskraft. Der Einsteinschen Theorie aber gelingt die Erklärung dieser Störung ohne weiteres. Hier sind ja die Newtonschen Bewegungsgleichungen nur eine erste Näherung, die zweite Näherung ergibt eine langsame Perihelbewegung der Planeten, und diese hat für den Merkur genau den richtigen Betrag.

Zum Abschlusse unseres kurzen Ganges durch die neue Lehre haben wir die wichtige Frage zu erledigen, welche Abänderungen an den Gesetzen der übrigen physikalischen Erscheinungen nötig sind, damit die allgemeine Relativität gewahrt bleibt. Man gelangt zu diesen Änderungen in der einfachsten Weise, indem man die Gleichungen von den gewöhnlichen rechtwinkligen Koordinaten auf beliebige krummlinige transformiert; dabei treten die Koeffizienten g_{ik} des Linienelements zunächst als gewisse Differentialausdrücke der Transformationsfunktionen auf. Läßt man dann in den neuen Gleichungen diese Bedeutung der g_{ik} beiseite und identifiziert sie mit den Gravitationspotentialen, die durch die Einsteinschen Differentialgleichungen bestimmt sind, so erhält man die gesuchten modifizierten Gesetze, die gegenüber beliebigen Transformationen invariant sind. Einstein hat diese Betrachtungen für die hydrodynamischen und die elektromagnetischen Grundgleichungen durchgeführt. Im Prinzipe werden alle diese Erscheinungen vom Schwerefelde abhängig, doch hat sich noch kein Fall finden lassen, wo die Abweichungen in den Bereich des Meßbaren fallen.

Mancher wird der Ansicht zuneigen, daß, wenn überhaupt von experimenteller Bestätigung der Theorie die Rede ist, es sich nur um „letzte Dezimalen“ handeln kann, zu deren Erklärung keine alles Bestehende umstürzende Theorie nötig sein sollte. Ich habe mich bemüht zu zeigen, daß der Fortschritt der Einsteinschen Lehre nicht so sehr in den numerischen Folgerungen, als in der Großartigkeit des inneren Aufbaues zu suchen ist. Wie weit man das anerkennen will, ist natürlich bis zu gewissem Grade Sache des Geschmackes und wissenschaftlichen Taktes. Jedenfalls wird eine Klasse von Widersachern ausfallen, die sich beim Auftreten des engeren Relativitätsprinzips hervortaten, nämlich die, denen die mathematische Form der neuen Theorie denn doch zu schwierig ist. Die andern aber, die darin festen Fuß fassen, werden großen Genuß daraus schöpfen und einen weiten Ausblick auf neue Fortschritte in der Erkenntnis des Wesens der Materie gewinnen. Denn es scheint nicht ausgeschlossen, daß die Einsteinschen Gesetze der Gravitation nicht nur die Bewegungen der Himmelskörper, sondern auch die Vorgänge im Elektron, Atom und Molekül im tiefsten Grunde beherrschen.

Literatur.

1) Albert Einstein, Über den Einfluß der Schwerkraft auf die Ausbreitung des Lichtes. Ann. d. Phys. (4), **35**, 898, 1911.

2) Albert Einstein, Physikalische Grundlagen einer Gravitationstheorie; Marcel Großmann, Mathematische Begriffsbildungen zur Gravitationstheorie; Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich. Jahrgang LVIII (1913).

3) Albert Einstein und Marcel Großmann, Entwurf einer verallgemeinerten Relativitätstheorie und einer Theorie der Gravitation. I. Physikalischer Teil von A. Einstein, II. Mathematischer Teil von M. Großmann. B. G. Teubner, Leipzig und Berlin, 1913. Abgedruckt in der Zeitschrift für Mathematik und Physik **62**, 225—261, 1913.

4) Albert Einstein und Marcel Großmann, Kovarianzeigenschaften der Feldgleichungen der auf die verallgemeinerte Relativitätstheorie gegründeten Gravitationstheorie. Zeitschrift für Mathematik und Physik **63**, 215—225, 1914.

5) Albert Einstein, Die formale Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. Sitzungsber. der kgl. preuß. Akad. d. Wiss. 29. Okt. 1914, Heft XLI, S. 1030 bis 1085.

6) Albert Einstein, Zur allgemeinen Relativitätstheorie. Sitzungsber. d. kgl. preuß. Akad. d. Wiss. 11. Nov. 1914, Heft XLIV, XLVI, S. 778—801.

7) Albert Einstein, Erklärung der Perihelbewegung des Merkur aus der allgemeinen Relativitätstheorie. Sitzungsber. d. kgl. preuß. Akad. d. Wiss. 18. Nov. 1915, Heft XLVII, S. 831—839.

8) Albert Einstein, Die Feldgleichungen der Gravitation. Sitzungsber. d. preuß. Akad. d. Wiss. 25. Nov. 1915, Heft XLVII, S. 844—847.

(Eingegangen 13. Februar 1916.)

BESPRECHUNGEN.

Das Erdöl. Seine Physik, Chemie, Geologie, Technologie und sein Wirtschaftsbetrieb in 5 Bänden. Herausgegeben von C. Engler u. H. v. Höfer. IV. Band. Die Prüfung und Verwendung des Erdöls, des Erdgases und der Erdölprodukte. Redigiert von C. Engler. Unter Mitwirkung von E. Czakó, G. Meyerheim, F. Nallinger, K. Pfeiffer, A. Freiherr von Schmidt, E. Terres und L. Ubbelohde bearbeitet von D. Holde, C. Koettnitz, L. Singer, St. Goulischambaroff und S. Aisinman. gr. 8°. XVI u. 775 S. mit 368 Abbildungen. Leipzig, S. Hirzel. 1916. Geheftet M. 36.—, gebunden M. 40.—

Der erste Teil des vorliegenden Bandes enthält die technische Analyse des Erdöls und der Erdölprodukte, und zwar werden in einzelnen Kapiteln der Reihe nach rohes Erdöl, Benzin, Leuchtpetroleum, Putzöl, Gasöle, Treiböle, Heizöle, Transformatorenöle, Fußbodenöle, Schmieröle, Maschinen- und Wagenfette, Bohr-, Fräs- und Textilöle, Paraffin, Vaseline, Goudron und Asphalt, Abfälle der Erdölverarbeitung und Erdgase behandelt. Bei jedem einzelnen dieser Produkte werden die physikalischen und chemischen Eigenschaften und die Methoden zu ihrer Ermittlung, die Gütebestimmung und der Nachweis schädlicher Beimischungen angeführt. Der zweite Teil befaßt sich mit der Verwendung des Erdgases, Erdöls und der Erdölprodukte, welche diese, in erster Linie als Heizmaterial, als Betriebskraft für Explosionsmotoren und als Schmiermittel finden. Schon diese kurze Inhaltsangabe zeigt, daß auch für Physiker der reiche Inhalt dieses Bandes viel Wissenswertes bringt. Fast könnte man sagen, daß er das zusammenfaßt, was einen Physiker von der Technologie des Erdöls interessiert. Daher bildet dieses Werk eine wertvolle Ergänzung jeder physikalischen Bibliothek. Als Beispiele hierfür mögen besonders die Kapitel über Transformatorenöle und Schmieröle angeführt werden. Wie oft haben viele experimentell arbeitenden Physiker schon vergeblich in den gebräuchlichen Handbüchern der chemischen Technologie Aufschluß über Schmier- und Isolieröle gesucht, die für ihre besonderen Zwecke am geeignetsten wären! Hier fänden sie das Gesuchte. Auch in den anderen Kapiteln, so besonders in den über Erdgas und Erdölfeuerung wird der Physiker neue Anregungen erhalten, denn sie sind eine mit wissenschaftlicher Gründlichkeit und Sachkenntnis geschriebene Zusammenstellung, die es in der deutschen Literatur meines Wissens bisher nicht gab. Nicht minder wertvoll ist der in knapper Form abgefaßte, inhaltsreiche Abschnitt über die Theorie der Verbrennung explosiver Gasmischungen in Motoren. Nur die Kapitel rein physikalischen und technischen Inhalts über Licht- und Wärmestrahlung und über Diesel- und Benzinmotoren sind, der Natur des Werkes entsprechend, so kurz gehalten, daß sie Physikern und Technikern kaum Neues bringen können. Wenn in andern Abschnitten Wiederholungen nicht vermieden werden, so ist dies wohl kein Fehler, sondern erhöht die Verwendbarkeit des Handbuches, das weniger zur Lektüre als zum Nachschlagen bestimmt ist, und bei dem es daher angenehm ist, in den einzelnen Abschnitten das Zusammengehörige immer wieder beieinander zu finden. Es ist das besondere Verdienst des Herausgebers, daß er für jedes einzelne Kapitel einen Fachmann heranzuziehen wußte, dessen wertvolle, im praktischen Betriebe gewonnenen Kenntnisse so der Allgemeinheit nutzbar gemacht werden konnten. Im übrigen kann auf die Besprechungen des ersten Bandes (diese Zeitschrift 14, 215, 1913 und 15, 64, 1914) verwiesen werden. Wohl niemals mehr als in diesen Kriegsjahren hat man die ungeheure Bedeutung des Erdöls für unser gesamtes Wirtschaftsleben ermessen. Ihr wird dieses große Werk gerecht, das nun bis auf den letzten Band vollständig vorliegt. Daß es auch unter den heutigen, schweren Zeitverhältnissen in dieser Weise weitergeführt und abgeschlossen werden konnte, darauf können Herausgeber und Verleger stolz sein.

Riesenfeld.

Personalien.

(Die Herausgeber bitten die Herren Fachgenossen, der Redaktion von eintretenden Änderungen möglichst bald Mitteilung zu machen.)

Ernannt: Der Direktor der Abteilung für mathematische Physik der Universität Göttingen Professor Dr. Peter Debye zum Leiter des gesamten physikalischen Instituts derselben Universität, mit dem Lehrauftrag der Experimentalphysik für Physiker und Mathematiker, der Privatdozent an der Universität Berlin Professor Dr. Otto Diels zum ord. Professor der allgemeinen und Experimentalchemie an der Universität Kiel (Prof. Wilh. Traube — vgl. No. 3 — hat abgelehnt).

Berufen: Der Privatdozent an der Universität Berlin Dr. Robert Pohl zum a. o. Professor an der Universität Göttingen, mit dem Lehrauftrag der Experimentalphysik für Mediziner und Chemiker.

Verliehen: Dem ord. Professor der Chemie an der Technischen Hochschule Graz Dr. Friedrich Emich, dem ord. Professor der chemischen Technologie organischer Stoffe an der Deutschen Technischen Hochschule Prag Dr. Georg v. Georgievics und dem ord. Professor für allgemeine und analytische Chemie an der Montanistischen Hochschule Příbram Dr. August Harpf der Titel Hofrat, dem Privatdozenten der Physik an der Universität Leipzig Dr. George Jaffé der Titel Professor.

Preise: Dem Professor der Physik an der Universität Kopenhagen Dr. Martin Knudsen die goldene H. C. Orsted-Medaille der Selskabet for Naturlärens Udbredelse mit dem damit verbundenen Geldpreis von 2000 Kr., Dr. Walther Bothe in Berlin-Charlottenburg der Preis der Dr. Elsa-Neumann-Stiftung im Betrage von 1000 M. für seine Arbeit „Beiträge zur Theorie der Brechung und Reflexion".

Gestorben: Der emer. Professor der Theorie und Geschichte der induktiven Wissenschaften an der Universität Wien Hofrat Dr. Ernst Mach in Haar bei München, der Physiker Dr. Pierre Chappuis-Sarasin in Basel, der Direktor des Observatoriums Aarhus Astronom Friedrich Krüger (nicht Georg Krüger, wie irrtümlich S. 28 angegeben), der Erfinder des Coalits Dr. Thomas Parker.

Für die Schriftleitung verantwortlich Professor Dr. H. Th. Simon in Göttingen. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.

Kobalt

Nickelin

Messing